

Desenvolvimento e Validação de Um Modelo de Procura de Transporte Ferroviário Urbano

JOÃO ALBERTO DE OLIVEIRA PEREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professor Doutor António Fidalgo Couto

JUNHO DE 2014

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-5081446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-5081440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus pais, à minha irmã

*"Quanto mais aumenta o nosso conhecimento,
mais evidente fica a nossa ignorância"*

John F. Kennedy

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu agradecimento pessoal a todas as pessoas que tornaram a realização desta dissertação possível, bem como todo o percurso académico, nomeadamente:

- Ao Professor António Fdalgo Couto, pela constante transmissão dos seus conhecimentos relativos à temática, pela sua disponibilidade, pela sua dedicação e pelo guia que foi durante o desenvolvimento da mesma;
- À Professora Cecília Rocha e ao Sr. Manuel Guimarães pela explicação e pelo apoio prestado durante a importação de dados no *software QGIS*;
- Aos meus pais, a principal razão de chegar a este ponto. Um muito obrigado pelo apoio incondicional que me deram e continuam a dar!
- À minha irmã, pelo pilar que tem sido durante todos estes anos na minha vida, por todos os conselhos sábios que transmite, um verdadeiro exemplo que tento seguir;
- A toda a minha família, de sangue e do peito;
- A todos os meus Amigos e Colegas, por todos os momentos passados.

A todos, um Muito Obrigado!

RESUMO

O sector de transportes, conforme se apresenta nos dias de hoje, foi um dos sectores que mais modificações sofreu nas últimas décadas. Sofreu alterações ao nível de infraestrutura, ao nível das metodologias construtivas e logística e também com preponderância alta, ao nível do planeamento - especificamente no modo de estimar a Procura e a adequar à Oferta.

O objectivo geral desta dissertação, realizada no âmbito do ramo de especialização de Vias de Comunicação do curso de Engenharia Civil, debruça-se na temática de Modelos de Procura por Transporte. Para melhor entendimento da mesma por parte do Leitor, nesta dissertação pode ser encontrada uma pesquisa bibliográfica sobre Modelos na sua abrangência geral, sendo direcionada posteriormente para um campo específico relacionado com os Modelos matemáticos de Procura. Foi realizada uma contextualização histórica da utilização e evolução deste tipo de Modelos e apresentadas características e diferenças entre as duas tipologias existentes: Modelos matemáticos de Procura Agregados e Desagregados.

Após a contextualização histórica referida, foi iniciado o desenvolvimento do Modelo proposto para esta dissertação. Decidiu-se, por questões geográficas e de informação disponível, que o Modelo a ser desenvolvido nesta dissertação iria ser aplicado à rede de Metro do Porto. Tendo como premissa o princípio de semelhança entre o comportamento da Procura futura e o comportamento observado em linhas com características semelhantes, quer ao nível da Oferta, quer ao nível do ambiente socioeconómico e demográfico em que as linhas se inserem, e pelo facto da rede de Metro do Porto ter sido alvo de expansões recentemente, este Modelo foi utilizado para estimar as validações das duas expansões mais recentes da rede: Linha F – do Estádio do Dragão até Fânzeres – e a Linha D – abertura da estação de Santo Ovídio.

No Capítulo 3, o Leitor pode encontrar o procedimento utilizado para o desenvolvimento do trabalho desta dissertação. Explica-se como se define a área de estudo, como se obtém as variáveis utilizadas para caracterização da área de influência e como se classificam as estações da rede para aplicação do Modelo. Foram realizadas duas aplicações do Modelo à rede: uma primeira abordagem realizada de uma forma global e uma segunda abordagem realizada por períodos do dia, a saber: período da manhã, período da tarde e período restante.

No Capítulo 4 desta dissertação, o Autor, apresenta os resultados finais da aplicação do Modelo e reconhece que a aplicação estratificada deste tipo de Modelo não oferece vantagens relativamente à aplicação global, acompanhado de considerações finais mais extensas no Capítulo 5

PALAVRAS – CHAVE: transportes, Modelos de procura, estimação de viagens, Metro do Porto, expansão

ABSTRACT

The transport sector, as presented today, was one of the sector that suffered the most changes in the past decades. These changes impacted the infrastructure, logistics methodologies and also the planning level, particularly estimating demand and supply.

The overall objective of this dissertation, developed as a specialization in the field of Transportation Networks for the Civil Engineering Degree Course, focuses on the theme of transport demand Models. For a better understanding of this dissertation, the reader can find in the bibliography further information on the Models and it's mathematical scope, subsequently directed to a specific field related to the mathematical Models of demand. An historical overview of the use and evolution of this type of Models and presented characteristics and differences occurred between the two existing typologies: aggregate and disaggregate mathematical demand Models.

After the historical context introduction, the Model proposed for this dissertation was then elaborated. It was decided, by geographic reasons and information availability, that the Model being developed in this dissertation would be applied to the *Metro do Porto* network. Assuming the principle of similarity between the behavior of future demand and the behavior observed in transport networks with similar characteristics in terms of socio-economic and demographic environment to Porto's network, and taking into consideration that Porto's network have been recently expanded, this Model was used to estimate the validations of two lines in the network: Line F – Estádio do Dragão up to Fânzeres; and Line D – the opening of Santo Ovídio station.

In the Chapter 3 the reader can find the procedure applied to the research developed in this dissertation. It explains how to define the application scope, how to get the variables used to characterize the area of influence and how to classify the stations in the network in order to apply the Model. Two approaches have been take: first approach took a global view while the second approach was performed by the periods of the day, namely, the morning, the afternoon and the rest of the day.

In Chapter 4 of this dissertation, the Autor presents the findings of the research and recognizes that the application of this type of stratified Model offers no advantages over the global application, accompanied by more extensive concluding remarks in Chapter 5.

KEYWORDS: transport, demand Models, trips estimation, Metro do Porto, expansion

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	III
ABSTRACT.....	V
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO E ÂMBITO DO ESTUDO	1
1.2. OBJECTIVOS PROPOSTOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2 MODELAÇÃO	3
2.1. ENQUADRAMENTO	3
2.2. DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA DE MODELOS NA ENGENHARIA	3
2.3. TIPOS DE MODELOS.....	4
2.3.1. MODELAÇÃO MATEMÁTICA	6
3 MODELO DE PROCURA PARA FUTURAS EXPANSÕES	15
3.1. ENQUADRAMENTO	15
3.2. METODOLOGIA DO MODELO	15
3.2.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
3.2.2. IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NA CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA.....	16
3.2.3. ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS ÀS VARIÁVEIS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA.....	17
3.2.4. ATRIBUIÇÃO DE NÍVEL ÀS ESTAÇÕES	17
3.2.5. ESTIMAÇÕES DAS VALIDAÇÕES.....	18
3.3. CARACTERÍSTICAS DAS REDES FERROVIÁRIAS URBANAS.....	19
3.3.1. CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE METRO DO PORTO.....	20
3.4. METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO MODELO NA REDE DO METRO DO PORTO	22
3.4.1. EXPANSÕES ANALISADAS	23
3.4.2. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE CADA ESTAÇÃO.....	26
3.4.3. CARACTERIZAÇÃO E METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS	28
3.4.4. ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS AOS PARÂMETROS	29
3.4.5. DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS DAS ESTAÇÕES.....	29
3.4.6. ABORDAGEM GERAL DO PROBLEMA.....	31
3.4.7. ABORDAGEM ESTRATIFICADA DO PROBLEMA.....	33

4 RESULTADOS: MODELO APLICADO AO CASO DE ESTUDO NA REDE DE METRO DO PORTO	35
4.1. ENQUADRAMENTO	35
4.2. RESULTADOS DO ABORDAGEM GERAL	35
4.2.1. RESULTADOS EXPRESSÃO X1.....	35
4.2.2. RESULTADOS EXPRESSÃO X2.....	36
4.2.3. RESULTADOS EXPRESSÃO X3.....	37
4.2.4. RESULTADOS EXPRESSÃO X4.....	37
4.2.5. RESULTADOS EXPRESSÃO X5.....	38
4.2.6. COMPARAÇÃO FINAL	39
4.3. RESULTADOS DA ABORDAGEM ESTRATIFICADA	40
4.3.1. RESULTADOS EXPRESSÃO X6 – PERÍODO DA MANHÃ	40
4.3.2. RESULTADOS EXPRESSÃO X7 – PERÍODO DA TARDE.....	40
4.3.3. RESULTADOS EXPRESSÃO X7 – PERÍODO RESTANTE	41
4.3.4. COMPARAÇÃO FINAL	42
4.4. COMPARAÇÃO ENTRE O MODELO GERAL E O MODELO ESTRATIFICADO	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Modelo de Túneis de Vento (Imagem Adaptada)	5
Figura 1.2 - Maquete da Casa do Cinema (Autoria: Siza Vieira)	5
Figura 1.3 - Lei da Oferta e da Procura	8
Figura 1.4 - Caso de procura acima da oferta no Metro de São Paulo	9
Figura 3.1 – Exemplo de uma Rede Metropolitana (nós e linhas)	16
Figura 3.2 – Exemplos de rede: a) Radial (Metro de São Paulo); b) Intermédia (Metro de Lisboa); c) Alongada (Metro de Copenhaga)	20
Figura 3.3 - Mapa da Rede de Metro do Porto, 2014	21
Figura 3.4 – Expansão da Linha D (Estação de Sto. Ovídio)	23
Figura 3.5 – Estações da Linha F	24
Figura 3.6 - Mapa do Grande Porto (importada do QGIS)	27
Figura 3.7 - Estações do MP no software QGIS	27

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Exemplo de Atribuição de Níveis às Estações	17
Tabela 3.2 – Número de Validações Totais (passag./ano)	23
Tabela 3.3 – Estações e os seus parâmetros caracterizados	25
Tabela 3.4 - Classes dos Parâmetros de Caracterização das Estações.....	29
Tabela 3.5 – Níveis Atribuídos às Estações	30
Tabela 3.6 - Estações com os níveis atribuídos	31
Tabela 4.1 – Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X1	35
Tabela 4.2 – Incremento de Validações na Rede Provocados por X1	36
Tabela 4.3 - Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X2	36
Tabela 4.4 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X2	36
Tabela 4.5 - Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X3	37
Tabela 4.6 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X3	37
Tabela 4.7 - Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X4	37
Tabela 4.8 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X4	38
Tabela 4.9 – Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X5	38
Tabela 4.10 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X5	38
Tabela 4.11 – Resultados Finais do Modelo Geral	39
Tabela 4.14 - Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X6	40
Tabela 4.15 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X6	40
Tabela 4.16 - Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X7	40
Tabela 4.17 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X7	41
Tabela 4.12 – Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X8	41
Tabela 4.13 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X8	41
Tabela 4.18 - Resultados Finais do Modelo Geral.....	42
Tabela 4.19 – Comparação de Resultados entre o Modelo Geral e o Modelo Estratificado.....	42

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AMP – Área Metropolitana do Porto

BGRI – Base Geográfica de Referenciação de Informação

CP – Comboios de Portugal

E – Emprego

H – Habitantes

I - Interface

INE – Instituto Nacional de Estatística

MP – Metro do Porto

MQP – Modelo Quatro Passos

PG – Pólos Geradores

RN – Região Norte

SCTP – Sociedade de Transportes Colectivos do Porto

TEP – Tempo a Estação Principal

TIC – Tecnologias da Informação e Comunicação

QGIS – Quantum Geographic Information System

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E ÂMBITO DO ESTUDO

A presente dissertação, enquadrada no domínio da Engenharia Civil, especificamente na área de Vias de Comunicação, visa o desenvolvimento e validação de um modelo de procura de transporte ferroviário urbano a um caso prático – neste caso à rede de Metro do Porto (MP). Não apresentando um carácter puramente investigacional, serão analisadas as características e condicionantes do modelo, bem como a sua aplicabilidade generalista e a sua aplicação no âmbito desta dissertação.

O sector de transportes nem sempre foi como se conhece actualmente. Os modos de transporte e as suas metodologias tiveram a capacidade de acompanhar o desenvolvimento tecnológico que se fez sentir nas últimas décadas, nomeadamente a crescente urbanização das cidades Europeias - e consequente uso do solo em grande escala - impeliu a necessidade de desenvolver modos de transporte mais eficazes. No século XIX – em Londres - é construída a primeira linha de transporte ferroviário urbano, comumente denominado por metropolitano ou metro, que revolucionou a mobilidade das pessoas e trouxe grandes vantagens aos centros urbanos. Duas grandes vantagens reconhecidas ao sistema metropolitano foi a capacidade de transportar um considerável aglomerado de pessoas numa única viagem e a possibilidade de criar ligações subterrâneas nos centros urbanos, fazendo assim um melhor aproveitamento do solo.

Neste entendimento, a crescente complexidade do sistema de transportes a nível global, alterou a abordagem ao planeamento das infraestruturas de transportes. A necessidade de recurso a modelos de procura por transporte surge quando o problema que se coloca não se prende com o simples crescimento do tráfego mas sim a intermodalidade do sistema de transportes que se verifica nas décadas mais recentes e a necessidade de dimensionar as redes de transporte eficazmente, tentando sempre equilibrar a procura com a oferta.

Esta dissertação não tem um carácter exaustivo na procura por bibliografia relacionada com a temática, mas sim um objectivo mais prático, tendo o Autor a ambição de validar o Modelo aplicado.

1.2. OBJECTIVOS PROPOSTOS

A Priori do desenrolar desta dissertação, existiam objectivos propostos para a definição do seu rumo. Era expectável que se desenvolvesse um Modelo de Procura, com a particularidade de ter como critério base a semelhança entre o comportamento da procura futura e o comportamento observado em linhas metropolitanas com características semelhantes quer ao nível da oferta, quer ao nível do ambiente sócio-económico e demográfico em que as linhas se inserem.

Após discussão com o seu Orientador, o Autor desta dissertação optou pela aplicação deste Modelo à rede de Metro do Porto, por se tratar de uma rede relativamente recente e com expansões, como é do conhecimento comum, ainda mais recentes e por outro principal objectivo deste Modelo ser especialmente vocacionado para a aplicação a situações de introdução de novas linhas em redes já existentes ou de futuras expansões. Por estes dois motivos e por ser geograficamente a rede mais próxima do estabelecimento de ensino em que esta dissertação foi realizada, a escolha recaiu sobre esta opção.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação, na procura de constituir uma declaração útil para aqueles que se debruçarem nos temas nela tratados, está organizada segundo um raciocínio de compreensão dos Modelos de Procura de acordo com o seguinte:

Neste capítulo introduz-se o tema, assim como os objectivos propostos.

O Capítulo 2 visa a apresentação da pesquisa bibliográfica realizada. Será abordada a temática segundo a sua definição e a sua importância na área da Engenharia, desde a utilização de Modelos físicos à utilização de Modelos matemáticos, com especial enfoque nesta última tipologia. Será feita uma introdução histórica, uma caracterização da principal característica – a Procura por Transportes – e a diferença existente entre a abordagem de Modelos matemáticos de forma agregada e desagregada.

No Capítulo 3, já mais direccionado para o Modelo de procura a utilizar especificamente, será feita uma descrição generalista da tipologia do Modelo. Neste capítulo apresenta-se a definição da área de estudo e o modo de definir, as variáveis nele contidas, a atribuição de níveis às estações das redes afectas e a forma de estimação da procura pela utilização deste tipo de Modelo. Ainda neste capítulo, será feita a caracterização referida, agora aplicada a uma rede metropolitana em específico, bem como as diferentes condicionantes.

Já no seguinte capítulo, Capítulo 4, serão expostos os resultados obtidos a partir do Modelo sob diferentes abordagens estudadas previamente, através de tabelas síntese que pretendem sintetizar numericamente a dissertação.

O quinto capítulo tem o propósito de apresentar as considerações finais do trabalho realizado, entre as quais, a informação apreendida e a análise crítica dos resultados obtidos e consequente confirmação da validação do Modelo.

2 MODELAÇÃO

2.1. ENQUADRAMENTO

Neste capítulo, que visa no seu todo a iniciação a capítulos posteriores, verificar-se-á o desenvolvimento da problemática dos Modelos de Procura de Transporte, fornecendo elementos que enquadrem o leitor à problemática. O Autor considera de grande valor fazer uma caracterização do universo geral dos modelos, com particular destaque para a importância destes no planeamento e dimensionamento de redes de transporte. Será ainda feita uma descrição dos conceitos implícitos à temática.

No subcapítulo 2.2, é explicado o conceito de Modelos, a sua importância na área da Engenharia e as diferentes formas de existência dos Modelos. De Modelos físicos a modelos matemáticos de procura de transporte, o Autor tenta mostrar as diferenças dos mesmos, assim como os diferentes campos de aplicação, com um diferente grau de interesse - nesta dissertação - entre os dois.

No subcapítulo 2.3 é feita, com maior detalhe, a análise aos modelos matemáticos. Será feita uma breve introdução histórica dos mesmos, assim como uma análise às condicionantes da procura de transporte e, por último, explicadas as diferenças entre os modelos matemáticos agregados e os modelos matemáticos desagregados, bem como vantagens e desvantagens das duas tipologias em questão.

É salvaguardada a ausência de informação mais específica e técnica neste capítulo, remetendo para consulta bibliográfica mais específica nos seguintes capítulos, por considerar o Autor necessário – em primeira instância - um enquadramento global.

2.2. DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA DE MODELOS NA ENGENHARIA

Um modelo pode ser definido como uma representação simplificada do mundo real. Concentram-se vários elementos considerados relevantes para a sua análise de acordo com o ponto de vista específico. (Ortuzar, J.d. and Willumsen, L.G., 1994)

Como o título indica, serve o presente capítulo para dar uma definição de modelo e objectivar a sua importância e influência na área da Engenharia.

Desde sempre, devido à imensidão e complexidade de todos os acontecimentos e fenómenos terrenos, houve uma necessidade intrínseca ao ser humano de conceber modelos para simplificar um processo de tomada de decisão ou para focar nos elementos e relações-chave de forma a chegar a um melhor entendimento da evolução de certo aspecto no futuro. Devido à infinidade de acontecimentos e

fenómenos, torna-se extremamente difícil entender o funcionamento como um todo. Para simplificar os processos, a melhor solução passa por fazer análises faseadas, ou seja, analisar caso a caso segmentado. Assim surge a necessidade do recurso a Modelos.

Os modelos podem ser encontrados em qualquer área laboral, mas é na Engenharia que a sua importância se destaca (podem até ser considerados como uma das fases de concepção de um projecto). Numa breve consulta ao dicionário da língua portuguesa é possível encontrar a seguinte definição de Modelo: “imagem, desenho ou objecto que serve para ser imitado”. Fazendo uma análise à própria definição, pode-se concluir que o objectivo de um modelo é o de ser um protótipo, isto é:

- Transformar um modelo mental num sistema físico;
- Representar de diversas maneiras um projecto;
- Analisar e corrigir determinados detalhes;
- Descrever um fenómeno.

Regressando à questão da importância de modelos na Engenharia, nos mais variados projectos da área (estruturais, hidráulicos, aerodinâmicos, etc.) o recurso a modelos para a concretização dos mesmos apresenta vantagens que os tornam imprescindíveis e prática comum. A complexidade presente na maior parte dos projectos de Engenharia leva a que seja impossível a sua concretização sem que exista um protótipo do mesmo à escala, reduzida ou aumentada. De forma a melhor perceber os passos na construção de um bom modelo, são apresentadas seguidamente as suas principais fases (Legrazie, R., 2012):

- Concepção: fase de amadurecimento da ideia;
- Elaboração: consiste na definição dos requisitos, arquitectura e prioridades;
- Construção: consiste nas várias interações das quais resultam versões diferentes que satisfazem subconjuntos de requisitos;
- Transição: por último fazem-se testes e ajustes de desempenho.

É imperativo seguir este encadeamento lógico, sem prejuízo de nenhuma das etapas. Na construção de um bom modelo, a semelhança entre a realidade e o modelo deve ser tanto mais próxima quanto possível para que, aquando da necessidade de fazer previsões ou correções de comportamentos, o nível de detalhe do modelo seja tão alto que ofereça uma simplicidade de processos que permita a sua utilização.

As duas principais vantagens que se podem destacar da utilização dos modelos são: a eficiência e a boa correspondência com a realidade (se o modelo for uma cópia fidedigna da realidade) tornam possíveis ajustes de correção ou melhoramento antes do projecto ser iniciado e a economia de tempo associada a esta prática permite que se economize igualmente em custos (geralmente, quanto mais complexos forem os projectos e os respectivos modelos, maior será o ganho na redução de custos).

2.3. TIPOS DE MODELOS

Os Modelos podem ser divididos em duas grandes categorias: modelos físicos e modelos matemáticos – há ainda uma terceira tipologia com pouco interesse para esta dissertação, os modelos abstractos. Os modelos físicos são de importância extrema nas áreas da Engenharia e Arquitectura, permitindo fazer estudos a uma escala mais reduzida do caso real (a palpabilidade é outra vantagem desta categoria). A título de exemplo, um caso mais informal da utilização de modelos físicos é o uso de, duas simples

canetas como modelo para descrever um choque rodoviário. Um outro exemplo, mais concreto que o primeiro, são os túneis de vento construídos em laboratório para testes aerodinâmicos. Na outra categoria de modelos, modelos matemáticos, a sua utilização prende-se com a tradução por equações matemáticas de fenómenos reais. Geralmente, o uso de cada categoria dos modelos referidos neste subcapítulo não é feito independentemente. Quando complementado por processos matemáticos que estudem a sua concepção, os modelos físicos permitem obter uma resposta rápida e acelerar o processo de desenvolvimento de um projecto, dando um maior grau de confiança aos cálculos realizados (a situação inversa é também importante). A utilização das duas categorias de modelos na área da Engenharia é então vital para o sucesso da realização dos projectos.

Não descurando o interesse de modelos físicos, apenas os modelos matemáticos serão alvo de análise nesta dissertação, por serem o cerne da resolução desta. Nas duas Figuras seguintes são destacados dois exemplos da modelação na Engenharia.

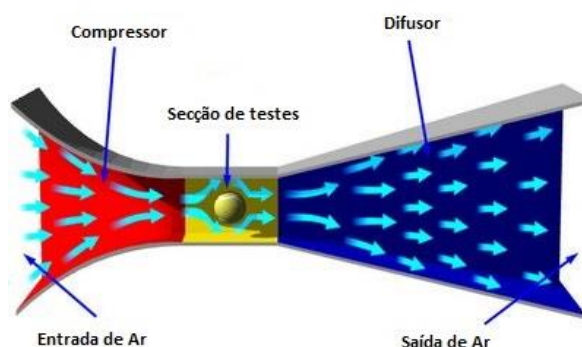


Figura 1.1 - Modelo de Túneis de Vento (Imagem Adaptada)

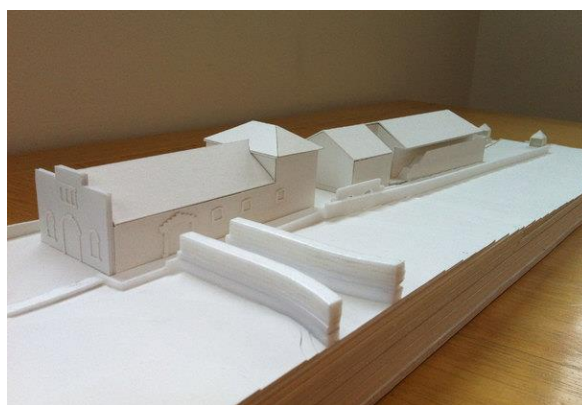


Figura 1.2 - Maquete da Casa do Cinema (Autoria: Siza Vieira)

Na Figura 1.1 é demonstrado uma das maiores aplicações de modelos. Devido à impossibilidade de fazer previsões de efeitos do vento a priori da fase de projecto, o recurso a esta técnica permite quantificar e avaliar o risco desses efeitos e, apartir desses mesmos resultados, fazer as devidas correcções.

Já na Figura 1.2 é demonstrado um outro modelo à escala reduzida da Casa do Cinema de Manoel de Oliveira, projectada pelo Arquitecto Siza Vieira, com especial referência à sua utilização nas áreas da Engenharia e Arquitectura.

2.3.1. MODELAÇÃO MATEMÁTICA

A primeira nota de destaque prende-se com o facto da análise feita à modelação matemática nesta secção se referir - unicamente - à sua utilização na estimação da procura de transportes.

Como explicado anteriormente, a modelação matemática tem diversos factores que levam a que a sua existência seja considerada de grande apoio à Engenharia. Os ganhos de tempo em relação à investigação experimental, a possibilidade de estimar comportamentos dos objectos de estudo em regimes anormais de funcionamento ou em regimes extremos, a possibilidade de receber informação mais detalhada nas investigações experimentais, quando complementadas por modelos matemáticos, a possibilidade de pesquisar sistemas e objectos com os quais seria impossível realizar investigações experimentais, por exemplo em matérias micro ou macro, e a possibilidade de adicionar e controlar os *inputs*, permitindo a redução dos riscos e uma aprendizagem contínua sobre o funcionamento do sistema em escrutínio, durante o processo de modelação, são alguns motivos que levam à sua utilização.

Dentro dos modelos matemáticos - existem dois tipos - quanto à informação disponível, a considerar: os modelos de caixa branca e os modelos de caixa preta. A diferença entre estes dois tipos está na grandeza de informações disponíveis. Nos modelos do tipo caixa branca, o utilizador tem acesso a todas as informações disponíveis, enquanto nos modelos do tipo caixa preta não existe informação disponível, tendo o utilizador de efectuar todo o trabalho de pesquisa.

Com qualidades tão relevantes e com os processos informáticos a desenvolverem-se em grande escala, assim como os métodos de cálculo, a modelação tem sofrido também consideráveis avanços ao longo das últimas décadas. Na secção seguinte será anotado um enquadramento histórico da modelação matemática.

2.3.1.1. Breve Nota Histórica da Modelação Matemática

Desde sempre a Humanidade teve uma necessidade de criar infra-estruturas de transporte capazes de fornecer ligações interterritoriais. Exemplo disso, são algumas ruínas romanas que ainda se encontram em Portugal e estradas pelo resto do mundo que, quer para fins bélicos, económicos, comerciais ou lúdicos, asseguravam a mobilidade da população. Desde há muitos séculos que este facto é uma certeza, assim como o uso do solo não ter sido uma condicionante. As infra-estruturas de transporte foram sendo construídas conforme a necessidade e facilidade de construção. Com o aumento da população e com o início da revolução industrial, novas formas de transporte surgiram e tornaram o aperfeiçoamento dessas infra-estruturas uma necessidade.

Os grandes centros urbanos foram-se expandindo e, conseqüentemente, a disponibilidade territorial foi diminuindo. Com a maior motorização da população o processo de planeamento reforçou a sua importância na abordagem feita pelas entidades governamentais. Com efeito, questões como *Quantos anos poderá uma estrada satisfazer o tráfego? A que taxa esse mesmo tráfego irá crescer?* Não eram anteriormente colocadas e vieram a revelar-se pertinentes. Para tentar dar uma resposta satisfatória a este paradigma, começaram a ser desenvolvidos modelos matemáticos de procura de transportes. Foi nos Estados Unidos da América, principalmente em Detroit e Chicago que, em meados do séc. XX

(1950 aproximadamente), começaram a ser desenvolvidos e a apresentar resultados. O modelo é orientado para a procura, utilizando como *input* a informação agregada sobre o crescimento, produzido por uma actividade de previsão económica agregada. Em 2.3.1.5 serão expostos com maior detalhe os modelos agregados.

Durante sensivelmente 30 anos após o início do desenvolvimento dos primeiros modelos matemáticos, potenciado pelos conhecidos avanços das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), chegou-se à conclusão que maior parte dos problemas de transportes existentes poderiam ser analisados por meio de técnicas de modelação. Semáforos controlados automaticamente por central ou com sensores de movimento, placas digitais automáticas na estrada controladas por central, comboios sem maquinista, meios electrónicos de pagamento de rodovias de alta-velocidade são alguns dos exemplos que atestam que o avanço das TIC alterou muito as metodologias antigas, possibilitando a concepção de novas infra-estruturas de transportes. Os modelos pioneiros, anteriormente referidos, foram sendo aprimorados, desta vez dos dois lados do Atlântico. Como centro urbano com força económica destacável do restante da Europa, esses avanços foram sentidos especialmente no Reino Unido, para controlar a urbanização de Londres. Antigamente, sabendo aproximadamente o fluxo de tráfego era possível fazer uma previsão das necessidades construtivas. Só durante o desenvolvimento e aplicação destes modelos, os planeadores reconheceram interacções complexas entre redes de transportes e o resto do sistema de transportes, procedendo assim a avanços significativos que serão explicados em 2.3.1.6.

Embora os problemas de transportes e a consequente utilização da modelação matemática para os resolver seja associada a grandes potências económicas, pode-se afirmar que este pensamento não é de todo correcto. Os países emergentes cada vez mais se tornam significativos no cenário mundial e sofrem também eles, de graves problemas de transporte, não se resumindo unicamente à falta de ligações terrestres entre cidades e mercados, mas abarcando outros problemas como congestionamentos e poluição, tal como nos países desenvolvidos. No entanto, há diferenças a ter em conta na abordagem do problema de cada um deles, como a diferença de rendimentos entre os mesmos, a alta procura por transporte público nos países emergentes e a escassez de recursos.

Atendendo às diferenças entre os países emergentes e os países desenvolvidos, existe uma necessidade de conceder um papel forte à modelação matemática de transporte e à sua influência no planeamento dos transportes, conceber uma boa infra-estrutura de transporte no reforço da competitividade económica. (Button, D.A.H.a.K.J., 2000)

2.3.1.2. Metodologia de Aplicação de Modelos Matemáticos

Com o desenvolvimento das TIC tão acentuado e aprimorado, as principais limitações à aplicação de modelos matemáticos são agora humanas e técnicas. Para um bom planeamento no sector de transportes há a exigência de qualificar profissionais para a problemática. Para uma correcta aplicação dos modelos matemáticos por parte dos profissionais mencionados anteriormente, existe um encadeamento lógico a ser seguido que importa ser referido (Viegas, J.M., 2000):

- Observar a realidade e descrevê-la com detalhe e rigor necessários para a sua representação dos fenómenos em estudo;
- Desenvolver e validar os modelos matemáticos que permitam compreender o comportamento das pessoas (e outros agentes sociais, por exemplo, as empresas), nomeadamente pela capacidade desses modelos representarem adequadamente as evoluções passadas;

- Perante cenários alternativos de intervenção sobre o sistema de transportes, estimar as alterações de comportamento das pessoas no que respeita à sua mobilidade nesse novo contexto.

2.3.1.3. A Procura por Transportes

Em economia pura, existe uma lei extremamente importante que é a Lei da Oferta e da Procura. A sua representação é feita na Figura seguinte:

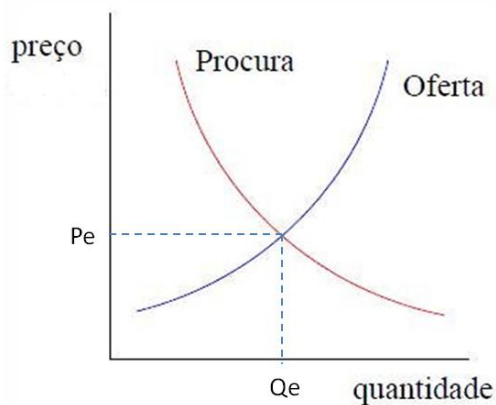


Figura 1.3 - Lei da Oferta e da Procura

Fazendo uma análise à Figura 1.3, em que a curva a vermelho é a Curva da Procura e a curva azul a Curva de Oferta, é possível verificar a interdependência entre as duas. A Lei da Oferta e da Procura, em aproximações económicas, relaciona a oferta e a procura na medida em que: quando a procura apresenta valores em quantidades superiores aos valores da oferta o preço do produto ou do serviço tende a subir e quando os valores da oferta são em quantidades superiores aos valores da procura o preço do mesmo produto ou serviço tende a baixar.

Na sua generalidade, esta lei aplica-se de exactamente igual maneira ao sector dos transportes, pelo que se torna de importância acentuada reflectir sobre o principal destino desta lei: o ponto óptimo ou ponto de equilíbrio. O ponto óptimo/de equilíbrio não é mais do que o ponto ou momento em que a procura se equilibra com a oferta. Esta situação é altamente improvável que aconteça no sentido literal, tanto em questões económicas como relativamente ao sector de transportes.



Figura 1.4 - Caso de procura acima da oferta no Metro de São Paulo

Para evitar que situações como a da Figura 1.4 aconteçam, que mostra o metro de São Paulo a atingir níveis de ocupação acima da sua capacidade, há necessidade de estimar o grau de procura exaustivamente. Tendo em conta que a procura por transporte é uma das maiores condicionantes para o dimensionamento de redes e sistemas de transportes, importa fazer uma caracterização da mesma.

O papel do planeamento dos transportes é o de assegurar a satisfação de uma determinada procura, para pessoas e bens com diferentes propósitos de viagem, em diferentes períodos do dia e do ano, utilizando diversos modos. O sistema de transporte é composto por:

- Infra-estrutura;
- Sistema de Gestão;
- Conjunto de Modos de Transporte.

Salvo raríssimas exceções, as pessoas fazem viagens para satisfazer uma necessidade. Quer seja por questões de trabalho, de saúde, ou outras distintas, a viagem é então consequência dessas necessidades. Como cada pessoa tem as suas necessidades e vontades, pode ser afirmado que a característica mais pronunciada da procura por transportes é a sua flutuação (a procura não apresenta constância ao longo dos diferentes períodos do dia). Existem períodos do dia ou do ano em que a procura é excessivamente alta e outros períodos em que apresenta níveis consideravelmente baixos. Os casos mais claros deste fenómeno estão relacionados com as viagens motivadas por questões laborais. Aproximadamente nas três primeiras horas do dia, existe uma afluência grande nas estradas e nos restantes modos de transporte que é explicada pela necessidade das pessoas se deslocarem para o trabalho. Em sentido inverso, no final do dia volta a haver um pico de procura motivado pelo regresso a casa da população trabalhadora. Pode-se considerar também que, agora por motivos de lazer, existe um decréscimo de procura por transporte público no verão (devido à maioria da população estar de férias por esta altura).

Pelos motivos apresentados, e porque a deslocação entre diferentes localizações envolve gasto de tempo e dinheiro, torna-se crucial estimar a procura com a maior precisão possível de forma a economizar nos custos e a adequar a oferta de um serviço à procura do mesmo.

Sabendo que é impossível prever com absoluta precisão as modificações provocadas no sistema de transporte por procuras maiores ou menores devido à quantidade de variáveis que estão envolvidas no processo, e mesmo porque por vezes é o próprio sistema de transportes o responsável por modificar os moldes da procura, cabe ao profissional ter a capacidade de fazer previsões e descortinar as possíveis modificações no sistema. Por razões óbvias, esta acção é tanto menos complexa, quanto menos

complexo for o sistema. A título de exemplo, é mais simples prever a procura por transporte ferroviário do que num sistema rodoviário devido às modificações no uso de terra, nos hábitos ou na renda da população. Além de dividir a área de estudo em zonas e codificar essas sub-áreas (método aplicado no âmbito desta dissertação no capítulo 3), é necessário também recolher o máximo de informações possível para estimar a procura, tanto do sistema de transportes como do ambiente sócio-económico. Recolher informações sobre a população, a renda, as principais indústrias de produção e as informações sobre o próprio sistema de transporte, permite ao projectista analisar o sistema de transporte afecto à questão e verificar como o próprio sistema de transporte afecta e é afectado por outros sistemas e a partir daí formular modelos matemáticos. Com as informações todas reunidas e agrupadas, torna-se mais fácil a introdução em softwares informáticos e, por consequência, o desenvolvimento do modelo matemático que pode ser de forma agregada ou desagregada, como será detalhado na secção seguinte. (Ortuzar, J.d. and Willumsen, L.G., 1994)

2.3.1.4. Contexto da Modelação Matemática

O planeamento do sector dos transportes pode ser realizado em diferentes contextos, que por sua vez, dão pesos específicos a diferentes aspectos da Modelação de transporte que influenciam a definição da distribuição do tráfego. Numa primeira abordagem, os contextos de aplicação podem ser distinguidos em função do ano horizonte do planeamento. Nos estudos de planeamento e gestão de transportes vinculados a um processo de tomada de decisão real, podem-se identificar três distintas e inter-relacionadas perspectivas: estratégica, tática e operacional. (Florian, M.G.a.C.L.a.M., 1988)

A escolha de uma ou outra perspectiva (estratégia, tática e operacional) está relacionada com várias variáveis como o nível de decisão a ser tomada, investimentos possíveis, horizonte do planeamento, etc, e consiste essencialmente na definição do que é endógeno e exógeno ao estudo.

- Na perspectiva estratégia (mais agregada) a análise e a tomada de decisão são utilizadas para definição de políticas gerais e afectação dos principais investimentos para um horizonte a longo prazo. O planeador tem geralmente um alto grau de liberdade, o estudo considera tipicamente o estado global do sistema de transporte, a variação possível da procura de transporte em relação à tendência demográfica, a evolução do uso do solo, etc., devendo também considerar a variabilidade do contexto económico, governamental e financeiro da organização responsável pela realização do estudo. Os resultados obtidos podem identificar por exemplo um novo serviço de ligações a ser implementado, localização e capacidade de um terminal de transporte colectivo ou políticas de ocupação do uso do solo.
- Na perspectiva operacional (normalmente mais desagregada e localizada) resolvem-se os problemas de curto prazo considerando-se como exógenos factores não estritamente parte da questão a ser respondida. O planeador considera, na procura por soluções, muitos factores e em particular o ambiente do problema como fixados e consequentemente exógenos são, por exemplo, considerados como restrição à procura média ou recursos humanos disponíveis.
- Na perspectiva tática, situada entre as duas anteriores, são tratadas questões concernentes ao planeamento da afectação de recursos com o objectivo de melhorar a eficiência e a produtividade. Os resultados são obtidos para um horizonte de médio prazo e identificam o uso eficiente dos recursos, em geral, já existentes ou representam a própria seleção dos recursos necessários.

Um segundo aspecto relacionado com o contexto de aplicação tem a ver com a amplitude geográfica do estudo. Normalmente, considera-se em relação à distribuição do tráfego, que se está a modelar toda

a área urbana “autónoma” (contínua no sentido urbano e separada de outras áreas por vazios urbanos). Esta perspectiva, contudo, não é a única perspectiva existente. Easa, M.S. (1993), por exemplo, identifica além dos estudos urbanos (*Large Area*), os estudos de corredores de transporte (*Small Area*)

- Os estudos urbanos (*Large Area*), geralmente, englobam todo o espaço contínuo urbano de determinada região e são estudos agregados que identificam políticas de transporte a ser implementadas. Em relação ao contexto “temporal” encontram-se quase sempre dentro da perspectiva estratégica. Para a realização deste tipo de estudo utiliza-se em geral a metodologia do MQP, excepto quando a perspectiva é operacional e de curto prazo
- Os estudos de área ou corredores (*Small Area*) englobam pequenas regiões do espaço contínuo urbano e normalmente são estudos operacionais (excepcionalmente, táticos). Para a realização destes estudos utilizam-se três metodologias:
 - Estudos restritos, onde através de pesquisas específicas (por exemplo, pesquisas de placas em acessos de vias rápidas) e uma rede detalhada limitada à área ou ao corredor procura-se analisar alternativas viárias ou políticas de estacionamento.
 - Estudos através de janelas (*windowing*), nos quais a área a ser estudada, obtida de um estudo urbano, é isolada através de uma linha de contorno. Todas as viagens que atravessam esta linha de contorno são consideradas externas e associadas a portões de entrada e saída, não sujeitas a mudanças devido à afectação de tráfego. A rede interna à linha de cordão é detalhada conforme os objectivos do estudo.(Samdahl, N.J.P.a.R.D., 1982)
 - Estudo focado (*focusing*), no qual toda a área urbana se mantém, alterando-se os níveis de agregação interno e externo à área de estudo. Na área de estudo a rede e a matriz de viagens são detalhadas enquanto o zoneamento e/ou redes externas à área de estudo podem ser progressivamente agregados à medida que se afastam da mesma.(Horowitz, A.J., 1990)

Em cada um destes contextos os requisitos específicos traduzem-se em recomendações metodológicas de estudo com impacto sobre a distribuição do tráfego. No entanto, os estudos de perspectiva mais ampla envolvem diversos aspectos socioeconómicos num grau de incerteza que provavelmente superam a importância dos aspectos espaciais. Por isso, um estudo sob influência do zoneamento de tráfego pode adoptar uma perspectiva de análise mais relacionada com os estudos operacionais (considerando exógenos aspectos socioeconómicos) e, assim, destaca-se a influência dos efeitos espaciais.(Cardoso, C.P., 2005)

2.3.1.5. Modelos Matemáticos de Procura de Transporte Agregados

Como explicado no subcapítulo 2.3.1.1, os modelos matemáticos agregados gozaram de grande sucesso nas décadas de 60 e 70. Muito deste sucesso derivou da facilidade com que se conseguia reduzir a uma cadeia de decisões simples de entender e programar no computador o processo de viagens diárias da maior parte das pessoas. Na procura da explicação do conjunto de viagens dos passageiros realizadas em aglomerações urbanas, com base em variáveis facilmente quantificáveis para cada uma das zonas em que essas aglomerações eram divididas, foi-se desenvolvendo a modelação matemática agregada para um modelo consensual (à data). Esse modelo matemático de procura de transporte agregado é o Modelo Quatro Passos (MQP). Para melhor entendimento, observa-se no parágrafo seguinte a sequência do MQP, cada passo acompanhado por uma questão que objectiva as respostas dadas por cada um :

- **Geração de Viagens:** Quantos movimentos de viagem são feitos?

Estimam-se quantas viagens são iniciadas e/ou concluídas em cada zona, em função do seu uso do solo (tipicamente número de residentes do lado da origem, número de empregos ou área comercial do lado do destino, consoante se trate de viagens casa-trabalho ou casa-compras).

A Geração de Viagens é estimada através de relações funcionais (normalmente obtidas por regressões lineares) ou uso de taxas médias de viagens por indivíduo ou domicílio de cada grupo (chamado de análise de categorias). São determinadas relações distintas para a produção e atração de viagens.

- **Distribuição de Viagens:** Para onde são realizadas as viagens?

Estima-se como é que as viagens de casa origem se repartem pelos vários destinos ou vice-versa.

A Distribuição de Viagens é tipicamente realizada após a geração das viagens e consiste em distribuir entre os vários destinos, os totais de viagens obtidos para cada zona na sua fase de geração. Um dos modelos mais utilizados é o Modelo Gravitacional que é uma analogia com a lei da Gravidade de Newton¹. Este modelo baseia-se na suposição de que as viagens entre zonas são diretamente proporcionais à geração de viagens (respectivamente geração e atração) das zonas e inversamente proporcional a uma função de separação espacial entre elas (impedância, relacionada com o custo generalizado da viagem) e pertence à categoria dos modelos sintéticos. (Ortuzar, J.d. and Willumsen, L.G., 1994)

Nos Modelos de Distribuição de Viagens, a imposição de valores obtidos na etapa de Geração de Viagens leva a utilizar procedimentos iterativos de balanceamento por origem ou por destino (unidimensionais) ou por origem e destino (bidimensionais). Os balanceamentos multidimensionais também podem ser usados, impondo a observação de dados de outra natureza. (Cardoso, C.P., 2005)

- **Divisão Modal:** Em que modo de transporte é a viagem realizada?

Estimam-se como é que as viagens realizadas entre cada par de zonas se repartem pelos diferentes modos disponíveis para essa ligação;

Este terceiro passo da modelação, a Divisão Modal, é realizada tipicamente após a Distribuição de Viagens e consiste em distribuir o total de viagens, para cada par Origem/Destino (O/D), entre os diferentes modos de transporte existentes. Em alguns casos, a ordem das etapas de Distribuição de Viagens e Divisão Modal é invertida. O Modelo usado nesta etapa é uma função que representa a percentagem de viagens realizadas em transporte público, em relação ao transporte individual, ou entre diversos modos. Relaciona-se a impedância dos modos em função do custo generalizado da viagem (atributos como custo e nível de serviço oferecido pelo modo de transporte) a dados do utilizador (como o rendimento e propriedade automóvel), normalmente utilizando Modelos de escolha discreta.

- **Afectação de Tráfego:** Que rota irá ser tomada?

Calculam-se quais os caminhos usados pelas viagens realizadas entre um dado par de zonas e num dado modo de transporte, tendo em atenção as redes disponíveis em cada um desses modos.

A Afectação de Tráfego, o último passo da Modelação, procura definir para cada modo as rotas utilizadas entre cada par O/D. Este realiza-se em rede representativa do sistema de transporte

¹ A lei da Gravidade de Newton diz: “ A força gravitacional entre dois pontos materiais possui uma intensidade diretamente proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa”

existente. O método mais simples de Afecção é o “tudo ou nada”, que encontra a rota do mínimo custo para cada par O/D e nele coloca todo o tráfego. Existem também métodos de Afecção do tráfego com rotas múltiplas. Uma grande desvantagem destas técnicas é o facto de não ter em conta a existência de congestionamento resultando assim em valores de volumes de tráfego irreais. Este passo pode ser feito numa rede multimodal, o que eventualmente permite suprimir o passo de Divisão Modal (admitindo, que os princípios de escolha entre modos são similares aos de escolha entre rotas).

Na MQP, a existência de congestionamento torna os passos anteriores à Afecção de Tráfego dependentes dos volumes no sistema viário. Para levar esta questão em conta, várias alternativas têm sido implementadas com o objectivo de permitir a Afecção de Tráfego com representação do efeito do congestionamento, com procura fixa ou variável de viagem (por modo de transporte, por intermodalidade da viagem, etc.).

Para redes congestionadas, é mais conveniente o uso da Afecção de Tráfego por equilíbrio (restrição da capacidade), no qual cada utilizador escolhe a rota que considera melhor. Os resultados são fluxos que satisfazem o princípio de Wardrop do “ótimo utilizador”, ou seja, que nenhum utilizador pode melhorar o seu tempo de viagem mudando de rota. Neste caso, todos os fluxos em todos os caminhos utilizados entre um par de O/D têm tempos iguais. Existem procedimentos exactos para equilíbrio e procedimentos heurísticos até que 100% dos volumes de tráfego sejam alocados.

Nos Modelos com procura variável, em vez de uma matriz de viagens que identifica cada par de O/D o número de viagens existentes, existe um conjunto de funções que fornecem o número de viagens para cada par O/D em cada iteração do processo de Afecção em função dos custos generalizados. (Cardoso, C.P., 2005)

As primeiras aplicações deste modelo foram aplicadas num nível extremo de agregação, pelo que não foram tidas em conta certas características da população com profunda influência nos resultados. A renda da população, o número do agregado familiar e a classe social, por exemplo, são algumas das características “esquecidas”. Esta situação foi propícia a que algumas críticas caminhassem no sentido do modelo. A seguinte lista mostra as críticas mais marcantes:

- Quando se passa ao trabalho mais próximo da expressão matemática verifica-se que o sub-modelo de distribuição (2º Passo) usa valores de tempos de viagem entre pares de zona – que claramente podem depender do modo escolhido – mas a escolha modal só aparece no 3º Passo. Esta dificuldade acaba por ser ultrapassável com formulações mais recentes em que a escolha do destino (distribuição) e de modo (repartição modal) são consideradas num passo único;
- Subjacente a este modelo está o paradigma de que as nossas viagens diárias são objecto de decisões independentes. Isto só é verdade quando se trata de pessoas que se limitam a duas viagens por dia, sendo a segunda o regresso a casa depois da primeira. Esta hipótese é correcta quando está em jogo a deslocação casa-trabalho ou casa-compras para quem não trabalha fora de casa, mas aplica-se a cada vez menos pessoas;
- O modelo não inclui qualquer componente que permita reflectir as escolhas que as pessoas fazem quanto à hora a que se deslocam para determinada actividade;
- Este modelo também não permite considerar a influência que as actividades dos vários membros de uma família exercem sobre os padrões de mobilidade de cada um deles: desde o levar ou buscar as crianças ao colégio, até ao carro único da família que pode ser uns dias

usado por um dos adultos e noutros dias por outro, em função do programa de actividades de cada um.

Perante a incapacidade de resposta adequada a estas questões, este modelo foi caindo em desuso havendo ainda, no entanto, muitas circunstâncias em que ainda é usado, começando a surgir propostas de modelação alternativas que procuravam suprir as lacunas e deficiências do MQP. Na secção 2.3.1.6 serão explicadas a metodologia e o funcionamento dos modelos desagregados de procura de transporte.(Button, D.A.H.a.K.J., 2000, Viegas, J.M., 2000)

2.3.1.6. Modelos Matemáticos de Procura de Transporte Desagregados

Para começar, é importante referir que a utilização de modelos agregados em detrimento de modelos desagregados ou vice-versa não tem uma abordagem perfeitamente definida, porém deve existir antes uma análise para as necessidades inerentes a cada campo de aplicação do modelo e escolher assim entre as duas alternativas.

O modelo matemático de procura de transporte desagregado é caracterizado por uma desagregação em relação às características da população afeta ao estudo. Neste tipo de modelos as características do indivíduo em particular, do seu agregado familiar, a situação profissional e o nível de motorização, são todos elementos de estudo que são importantes a este tipo de análise. Todo este detalhe que é requerido, exige ao planeador um nível bastante alto de trabalho de estatística e de capacidade de interpretação.

Esta tipologia de modelos matemáticos pode ser vista como uma contradição, estando a sua fraqueza no factor que também constitui a sua maior força, isto é, a muito maior quantidade e variedade de informação em que se baseiam. Essa informação diz respeito não só ao conjunto de viagens efectuadas pelas pessoas inquiridas, mas também ao enquadramento sócio-económico dessas pessoas, ou seja, há que dispor de informação que permita o enquadramento correcto e tanto quanto possível completo das decisões relativas à mobilidade de cada pessoa. Com uma maior quantidade de informação recolhida, à partida, existirá uma melhor qualidade na explicação das viagens realizadas. O inconveniente está no facto de este processo ser consideravelmente mais dispendioso reunir de forma coerente e estatisticamente significativa essa mesma informação nos aglomerados urbanos.

Tal como os modelos matemáticos de procura agregados, também os modelos desagregados são alvo de críticas quanto à sua aplicabilidade. A dificuldade com que se estimam margens de erro das estimativas produzidas é maior que nos modelos agregados e pelo processo de decisão ser modelado de forma muito mais pormenorizada, é muito mais problemática a transposição de processos de decisão, ou de parâmetros, de uma cidade para a outra. A extensão desta última crítica leva a que se possa também considerar mais problemática a transposição dos processos ou parâmetros de uma cidade hoje para essa mesma cidade daqui a alguns anos, mas esse é o objectivo principal da utilização dos modelos de estimação de procura.(Ortuzar, J.d. and Willumsen, L.G., 1994, Viegas, J.M., 2000)

3

MODELO DE PROCURA PARA FUTURAS EXPANSÕES

3.1. ENQUADRAMENTO

Como é o propósito desta dissertação, nesta secção será esmiuçada a metodologia de utilização do modelo considerado num conceito geral. Num outro ponto, será explicada a metodologia do mesmo Modelo, desta vez considerando a sua aplicação à rede do Metro do Porto (MP).

Detalhadamente, será explicada a metodologia para definir uma determinada área de estudo, com a identificação da zona de influência em que uma estação/paragem se torna capaz de atrair pessoas para geração de viagens, que variáveis serão preponderantes na consideração de níveis a atribuir às estações e por fim a comparação dos valores obtidos com os valores reais, através da consideração de similaridade entre zonas.

3.2. METODOLOGIA DO MODELO

Antes de explicar a metodologia de aplicação do Modelo à rede do MP, importa caracterizá-lo genericamente e mostrar que o seu campo de aplicação é tão vasto quanto a informação disponível, não estando apenas a sua aplicabilidade inerente a redes de metropolitano urbano.

O Modelo em estudo visa a estimação de validações pelo princípio de similaridade entre zonas, ou seja, permite a consideração de comportamento homólogo entre uma rede mais antiga e a rede em apreciação (possibilitando a importação de dados). Resumidamente, admite-se que diferentes zonas, com comportamentos análogos e características semelhantes, têm a capacidade de gerar – ou atrair – um volume de viagens igualmente semelhante. A sua aplicabilidade é extensível a diferentes tipologias de redes transporte. Quer sejam redes de transporte ferroviário, quer sejam redes de transporte rodoviário, desde que existam condições para a utilização de informações necessárias ao desenvolvimento do Modelo, a sua aplicabilidade é válida.

3.2.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Uma rede de transporte tem como base a representação discreta do espaço contínuo, em que a área alvo de modelação é dividida em zonas de tráfego e a rede de transporte pode ser dividida, em **ligações** – trechos da rede que conectam pontos do sistema, ou seja, distância percorrida entre uma origem e um destino – e **nós** – que serão as paragens/estações da rede. Para desenvolver um Modelo tão preciso quanto possível, torna-se necessário definir a sua área de estudo, também, com o maior detalhe possível. Sendo a área de estudo susceptível de apresentar características particulares quer em

relação à oferta, quer em relação à procura, é importante sectionar uma área de estudo global com a finalidade do tratamento de dados ser mais particular e – assim - mais preciso.

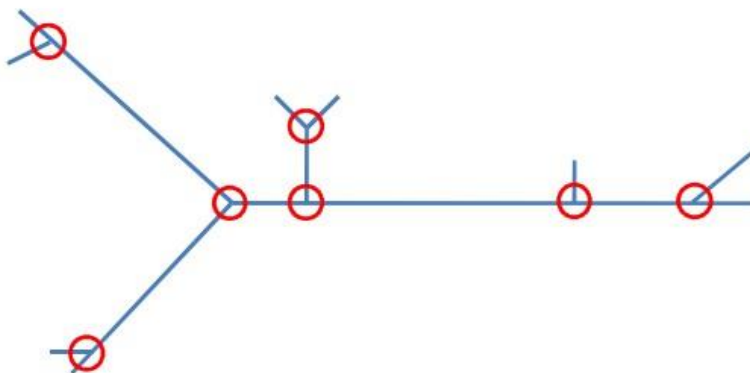


Figura 3.1 – Exemplo de uma Rede Metropolitana (nós e linhas)

A metodologia deste Modelo passa por isolar e definir quais serão os nós da rede alvo de estudo – fazer uma selecção dos nós que se identificam com o princípio do Modelo. Neste procedimento as zonas de tráfego são definidas *a priori* e passam a ser representadas por um único ponto denominado **centróide**. Os centróides funcionam como pólos de geração e atração de viagens das respectivas zonas. A metodologia de aplicação dos centróides é assumir as estações/paragens como centróide e definir a área de influência de cada nó através da marcação de uma circunferência centrada no nó em questão e com determinado raio. Uma das questões mais importantes neste ponto é mesmo a atribuição do raio a utilizar, pois este determina a área que, presumivelmente, será capaz de gerar viagens. É usual definir o raio com base na distância a pé que uma pessoa se predispõe a percorrer para usufruir dos serviços da rede. Admite-se que se uma pessoa tiver que percorrer uma distância maior que a definida por esse raio a pé, ela procurará outras alternativas mais cómodas.

3.2.2. IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NA CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA

A quantidade e qualidade das variáveis a utilizar depende em grande escala do objectivo e do nível de detalhe do Modelo. As variáveis são indicadores do nível de geração de viagens e podem ser distinguidas qualitativamente como **variáveis de procura** ou **variáveis de oferta**. São inúmeras as variáveis – dos dois tipos – a considerar, ficando para demonstração alguns exemplos no parágrafo seguinte.

Relativamente às variáveis de procura por transporte pode ser afirmado que estas são indicadores especificamente relacionados com a população, e respectiva actividade, que irá usufruir do serviço prestado e assim adicionar um incremento na geração de viagens. O número de habitantes, o número de postos de trabalho, estabelecimentos escolares, de saúde ou comerciais, são alguns exemplos. Se o intuito for obter um Modelo mais detalhado, pode-se considerar a população segundo faixas etárias, o nível de motorização de um agregado familiar e/ou até o estrato social da população inserida numa área de influência.

As variáveis que caracterizam a oferta são mais direcionadas para os serviços externos à rede, mas com notória influência na geração de viagens da mesma, ou qualidade do serviço prestado. Se existirem dois nós em tudo semelhantes, população e restantes variáveis, um deles com um nó de outro serviço na sua proximidade e um outro nó sem qualquer serviço próximo, é expectável que o primeiro terá uma maior capacidade de atrair utilizadores à rede. Não estando diretamente relacionados, a sua importância não pode nem deve ser descartada devido à sua influência na rede.

Em Modelos mais elaborados, o procedimento torna-se mais exigente. Torna-se necessário o trabalho de campo e a consequente realização de pesquisas O/D – Origem/Destino. O objectivo destas pesquisas não é só e apenas determinar o ponto inicial e o ponto final dos percursos, mas também obter informações de carácter geral sobre os passageiros e/ou veículos. Através destas informações são recolhidos dados para o dimensionamento dos elementos das redes de transporte.

3.2.3. ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS ÀS VARIÁVEIS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA

A informação recolhida em passos anteriores servirá agora para o passo seguinte, o de atribuição de níveis às estações. Em alguns casos a quantidade de informação e a dispersão da mesma é tão grande que atribuir níveis às estações se torna a solução mais consensual.

Neste passo, cada uma das variáveis recolhidas da área de influência de um nó, e com interesse para o Modelo, é classificada dentro de um intervalo. Esse intervalo pode ser variável, dependendo de Modelo para Modelo, mas o enfoque vai para a coerência que é necessário observar entre as diferentes variáveis. Na aplicação deste método de níveis, existe a condição de estarem classificados segundo os mesmos intervalos e seguirem a mesma lógica, ou seja, quanto maiores forem os valores das variáveis a considerar, menores serão os valores dos níveis. Seguir a lógica inversa é de igual forma aplicável, estando ao critério do profissional de planeamento a sua escolha. A aceitação destas condições, é um bom método para o desenvolvimento do Modelo.

Na Tabela 3.1 está presente um exemplo de atribuição de níveis às variáveis de caracterização.

Tabela 3.1 – Exemplo de Atribuição de Níveis às Estações

Nível	População	Postos de Trabalho	Centros Comerciais	Hospitais	Escolas
1	$P > 100$	$Pt > 100$	$C > 1$	$C > 1$	$C > 1$
2	$50 < P < 100$	$50 < Pt < 100$	$C = 1$	$C = 1$	$C = 1$
3	$P < 50$	$Pt < 50$	$C = 0$	$C = 0$	$C = 0$

3.2.4. ATRIBUIÇÃO DE NÍVEL ÀS ESTAÇÕES

A necessidade de uniformizar as estações para tratamento de dados eficaz, torna imperativa a atribuição de níveis às estações consideradas no Modelo. O objectivo passa por, através dos níveis definidos para as variáveis de caracterização, atingir um nível global da estação – com esse fim o Modelo proposto utiliza expressões lineares. Basicamente, este processo consiste em atribuir pesos a cada variável. Esta distribuição de pesos necessita de uma análise de sensibilidade por parte de quem desenvolve o Modelo pois, dependendo do horário do dia, ou eventualmente do período do ano, há

variáveis que se tornam mais preponderantes na análise que outras. Pretendendo obter-se um Modelo com nível de agregação elevado o aconselhável será testar várias hipóteses de pesos a atribuir.

Fazendo médias de expressões, considerado pouco eficaz porque analisando deste modo não é perceptível que variável estará a ser mais condicionante, ou resolvendo as equações isoladamente, atinge-se o nível geral da estação/paragem.

3.2.5. ESTIMAÇÕES DAS VALIDAÇÕES

Com base no princípio geral do Modelo de que as estações com áreas servidas de características análogas têm um número de viagens semelhante e com os valores dos níveis das estações obtidos no passo anterior, inicia-se assim no último passo do Modelo.

A primeira medida a ter em atenção quando se começa a estimar a procura é a de encontrar um ano da rede existente que servirá como o “ano zero de referência” - que forneça dados fiáveis, isto é, em que não tenham ocorrido alterações na rede. Se existirem alterações na rede, os dados podem não ser verdadeiramente considerados representativos na medida em que, devido à existência de um período de adaptação dos padrões de procura por parte da população, este período não produz uma procura estável. É por isso importante que o ano base a considerar seja o ano mais recente em que a rede se tenha encontrado inalterada.

Para obter os valores finais e ver se a respectiva estimação foi válida ou não, criam-se três cenários caracterizando cada nível de procura por estação: aproximação por valores mínimos, aproximação por valores médios e aproximação por valores máximos. Assim, para cada nível existirá uma procura mínima correspondente à estação identificada com esse nível com o valor mais baixo de validações, um valor máximo correspondente à estação nesse nível com o maior número de validações e um valor médio correspondendo ao valor médio de todas as estações incluídas nesse nível.

Deste modo, elenca-se o procedimento de resolução.

- i. Organizam-se as estações/paragens por níveis – com validações conhecidas;
- ii. Verifica-se o nível das estações previstas na expansão, isto é, a partir das variáveis explicativas da procura identifica-se o nível a atribuir a cada futura estação da expansão prevista;
- iii. Com base nas validações verificadas nas diferentes estações existentes que se inserem num mesmo nível, é calculado o valor médio de viagens por nível e destacado o valor mínimo e máximo de cada nível;
- iv. A cada estação da expansão prevista, a partir do nível que lhe está associado é atribuído o número de viagens correspondente;
- v. Finalmente, para entrar em conta com o efeito pendular das viagens, o valor encontrado deverá ser devidamente majorado. A título de exemplo, se se considerar que todas as validações produzidas numa dada estação vão implicar uma viagem de retorno com origem numa estação já existente, o coeficiente de majoração deverá assumir um valor próximo de 2;
- vi. Adicionalmente, deverá ser estimada uma taxa de crescimento da procura, para ter em conta a evolução natural da procura na rede. A taxa a aplicar dependerá fortemente da análise da evolução da procura nos períodos anteriores, bem como de factores socio-económicos gerais com efeito na procura global do sistema de transportes públicos.

3.3. CARACTERÍSTICAS DAS REDES FERROVIÁRIAS URBANAS

As redes de metropolitano são uma forma eficaz dos grandes centros urbanos contornarem alguns problemas inerentes à sua dimensão, como é o exemplo da poluição ou do congestionamento viário excessivo. Normalmente a aplicabilidade de redes metropolitanas está associada aos limites centrais da cidade, podendo ocasionalmente fazer ligações aos subúrbios. As suas linhas podem ser enterradas, de superfície ou elevadas, estando condicionadas por, entre outros factores menos relevantes, estados topográficos da área.

As redes metropolitanas têm três características que se destacam das demais:

- É um sistema de transporte urbano eléctrico;
- A sua circulação dá-se em canal segregado do tráfego rodoviário;
- Possui elevada frequência de circulação, o que traduz em reduzidos tempos de espera nas estações. (Lobo, A.M.C.V., 2008)

As profundas mudanças na sociedade e a consolidação de novos paradigmas urbanos e, principalmente, ambientais e energéticos, reforçam a aposta que é sentida no desenvolvimento das redes metropolitanas. O processo de difusão urbano com baixas densidades e separação das actividades, e consequente aumento do tráfego rodoviário, indica um novo caminho que será uma pesquisa integrada em transportes e planeamento urbano com a finalidade de dar mais atenção ao problema da diminuição do uso dos veículos particulares.

Este objectivo relaciona-se com as directivas globais a respeito das alterações climáticas do planeta (diminuição das emissões de CO₂ e diminuição do buraco do ozono), à racionalização da utilização dos recursos naturais e também aos esforços de inversão das tendências nocivas da saúde biológica do ser humano, cada vez mais sedentário e dependente do veículo particular, num contexto fortemente estruturado pelo conceito de sustentabilidade. (Ewing, R., 2002)

As redes de metropolitano, quanto à sua disposição geográfica e forma, mesmo apresentando configurações muito variáveis, pode ser classificada segundo três tipos:

- Radial – redes metropolitanas em que as suas linhas servem destinos em toda a volta do núcleo urbano principal;
- Intermédia – redes metropolitanas em que as suas linhas servem destinos apenas em algumas direcções relativamente ao núcleo urbano principal;
- Alongada – redes metropolitanas em que as suas linhas servem destinos contidos aproximadamente numa única direcção que passe pelo núcleo urbano principal.

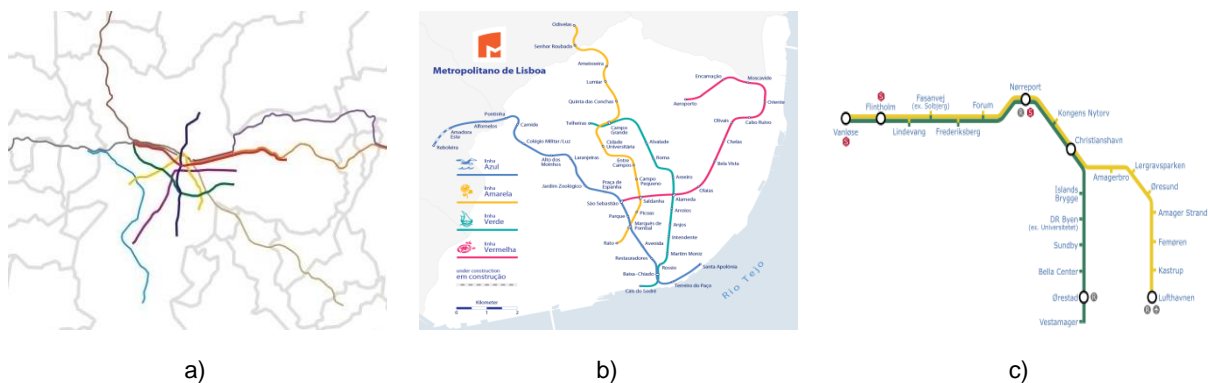


Figura 3.2 – Exemplos de rede: a) Radial (Metro de São Paulo); b) Intermédia (Metro de Lisboa); c) Alongada (Metro de Copenhaga)

Apesar das diferentes modos de construção de linhas metropolitanas nos centros urbanos (enterrada, de superfície ou elevada) há dois factores condicionantes no desenvolvimento das redes, que afectam a tipologia referida na Figura 3.2. O primeiro relaciona-se com o facto de algumas zonas da área urbana já serem providas de transporte ferroviário, nomeadamente comboios suburbanos. Normalmente, o movimento de passageiros não justifica a duplicação de sistemas de transporte, optando-se pelo não prolongamento do metropolitano até essas zonas. O segundo facto é a existência de barreiras naturais junto a áreas urbanas. A propósito, por exemplo, uma cidade principal situada junto ao mar nunca pode ser uma rede radial, pois esta nunca se pode desenvolver sobre o mar. Outros exemplos condicionantes poderiam ser áreas montanhosas ou próximas de cursos de água demasiado largos.

3.3.1. CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE METRO DO PORTO

Sendo a Área Metropolitana do Porto (AMP) a zona com maior influência económica da Região Norte (RN), que por sua vez representa um dos maiores pólos exportadores de Portugal, a falta duma rede de transporte urbano eficiente foi cada vez mais notada e, para colmatar essa lacuna existente, deram-se início na década de 90 a conversações exploratórias com vista à criação dessa mesma rede de transporte. Depois de cumprir todas as negociações e trâmites legais, a escolha recaiu por uma rede de transporte metropolitana, a denominada rede de Metro do Porto (MP). Foi no ano de 1999 que se deu início à primeira frente de obra.

Actualmente, o Metro do Porto é uma rede metropolitana que conta com aproximadamente 67 km de extensão, divididos em 6 linhas distintas, conforme identificadas na Figura 3.3

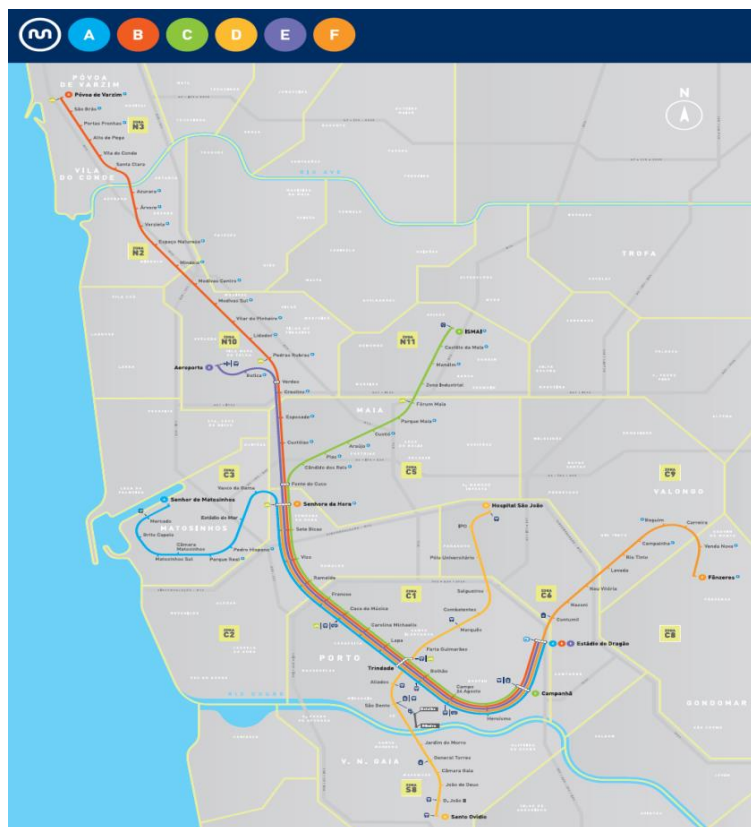


Figura 3.3 - Mapa da Rede de Metro do Porto, 2014

As 6 linhas de Metro, identificadas por cores e letras de A a F, formam a rede do MP que pode ser considerada bastante ampla. A abrangência é quase total, servindo 7 concelhos da cidade do Porto. No total, são 81 estações de metro, das quais 14 subterrâneas. Daqui se percebe que se trata de uma rede mista, ou seja, a circulação é alternada entre circulação à superfície e circulação subterrânea. Esta foi a melhor solução encontrada, em muito devido a um centro urbano muito lotado de infra-estruturas prediais e uma periferia com vasto terreno disponível e, também, por ser mais económica a construção à superfície do que a construção subterrânea. Outro aspecto muito positivo que se pode observar desde a construção da infraestrutura da rede é que se estima que aproximadamente 12 mil automóveis deixaram de circular diariamente. (Porto, M.d., 2014)

3.3.1.1. Evolução da oferta da rede

A rede do Metro do Porto nem sempre teve a forma que se verifica actualmente. Devido ao grande investimento e à grande envergadura da obra, que tornaria impraticável a construção de túneis e linhas ferroviárias ao mesmo tempo, a construção foi faseada. De seguida, é apresentado um breve cronograma com as datas mais marcantes da fase construtiva do MP. (Porto, M.d., 2014)

- 15/03/99 – Instalação do primeiro estaleiro de obra em Campanhã;
- 14/07/00 – Entra em funcionamento a tuneladora, começando a perfurar o túnel de 2,3 km entre Campanhã e Trindade;
- 24/02/02 – É encerrada a circulação ferroviária nas linhas da CP da Póvoa e da Trofa, de modo a que possam ser iniciadas as obras de construção do canal do Metro;

- 29/06/02 – O troço da Linha A (Azul) compreendido entre a Estação Câmara de Matosinhos e a Estação do Viso entra em operação experimental;
- 02/09/02 – É alargado o troço experimental da Linha A, agora compreendido entre a Estação Senhor de Matosinhos (estação terminal) e a Estação do Viso
- 21/10/02 – Chegada da tuneladora à Trindade, ficando assim concluída a escavação do primeiro túnel entre Campanhã e Trindade;
- 07/12/02 – É oficialmente inaugurada a Linha A;
- 31/03/03 – Dão-se início às obras da Linha D (Amarela), em Vila Nova de Gaia;
- 05/06/04 – Inauguração da extensão da Linha A, entre a Trindade e o Estádio do Dragão;
- 01/03/05 – É iniciada a construção da Linha E (Violeta), que faz a ligação entre o Aeroporto ao Estádio do Dragão;
- 13/03/05 – Abertura da Linha B (Vermelha), entre o Estádio do Dragão e Pedras Rubras;
- 30/07/05 – Abertura da Linha C (Verde), entre o Estádio do Dragão e o Fórum Maia. Nesta data a rede conta com um total de 29 km de extensão;
- 17/09/05 – É inaugurada a exploração da Linha D, entre a Câmara de Gaia e o Pólo Universitário;
- 18/03/06 – Abertura do troço entre Pedra Rubras e Póvoa de Varzim da Linha B, ficando assim concluída;
- 31/03/06 – Abertura dos troços entre Pólo Universitário e Hosp. São João e entre Fórum Maia e ISMAI das Linhas D e C, respectivamente;
- 27/05/06 – Inauguração da Linha E, ligando Aeroporto ao Estádio do Dragão;
- 27/05/08 – Abertura do troço da Linha D e da nova estação de D. João II;
- 15/10/11 – Abertura da estação de Santo Ovídio da Linha D;
- 02/01/12 – Inauguração da Linha F (Laranja), entre o Estádio do Dragão e Fânzeres.

Mesmo considerando a abrangência do MP muito ampla, como dito anteriormente, algumas zonas da cidade do Porto estão carentes deste tipo de transporte. A falta de alternativas válidas ao metropolitano - leva a que exista algum descontentamento da população face a este fenómeno. O MP tinha previstas algumas expansões, nomeadamente, o prolongamento da Linha C (Verde) que ligaria o ISMAI à Trofa, que foram todas suspensas devido à situação económica que Portugal vive à data. Outras duas expansões previstas que foram congeladas pelos motivos referidos anteriormente foi a criação de uma nova Linha que ligaria Campo Alegre/Hosp. São João/Matosinhos Sul e o prolongamento da Linha F de Fânzeres até Vila d'Este e Valbom.(Notícias, J.d., 2010)

3.4. METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO MODELO NA REDE DO METRO DO PORTO

Conforme descrito na caracterização anterior, a rede do MP tem sofrido, desde a abertura da primeira linha, sucessivas expansões que são reflectidas num sucessivo aumento da procura por parte da população, ou seja, o aumento de validações acompanha o aumento da oferta. Na Tabela 3.2 mostra-se o crescimento do número de validações totais por ano.

Tabela 3.2 – Número de Validações Totais (passag./ano)

Ano	Validações
2009	52 600 420
2010	53 547 220
2011	55 737 262
2012 ²	54 497 816
2013	55 930 831

Tendo presente o objectivo desta dissertação, de desenvolvimento de um Modelo de estimação da procura aplicado à rede do MP, será feita nesta secção uma descrição da metodologia na aplicação do mesmo na rede.

3.4.1. EXPANSÕES ANALISADAS

Com um total de 81 estações na rede do MP, não serão todas as estações alvo de estimativas de procura por parte do Modelo. A análise que será realizada nas duas expansões mais recentes do MP: linha amarela (D) – abertura da estação de Santo Ovídio - e linha laranja (F) – ligação entre o Estádio do Dragão e Fânzeres. Estas duas expansões foram concluídas no ano de 2011 e aumentaram em 7,06 km a rede – 6,56 km da linha F e 0,5 km da linha D.

Nas duas Figuras seguintes, Figura 3.4 e Figura 3.5, estão definidas as áreas de estudo das expansões analisadas, respectivamente, da Linha D e da Linha F da rede de Metro do Porto.

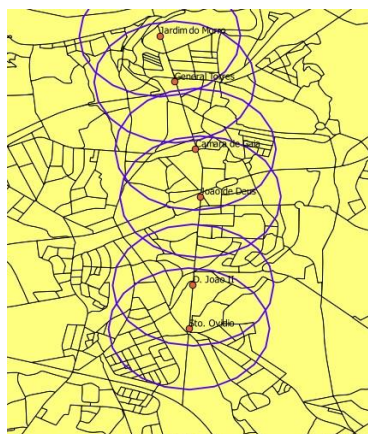


Figura 3.4 – Expansão da Linha D (Estação de Sto. Ovídio)

² Em 2012 verifica-se um decréscimo anormal no número de validações, possivelmente por utilização anómala dos serviços. Em 2013 os valores voltam à normalidade.

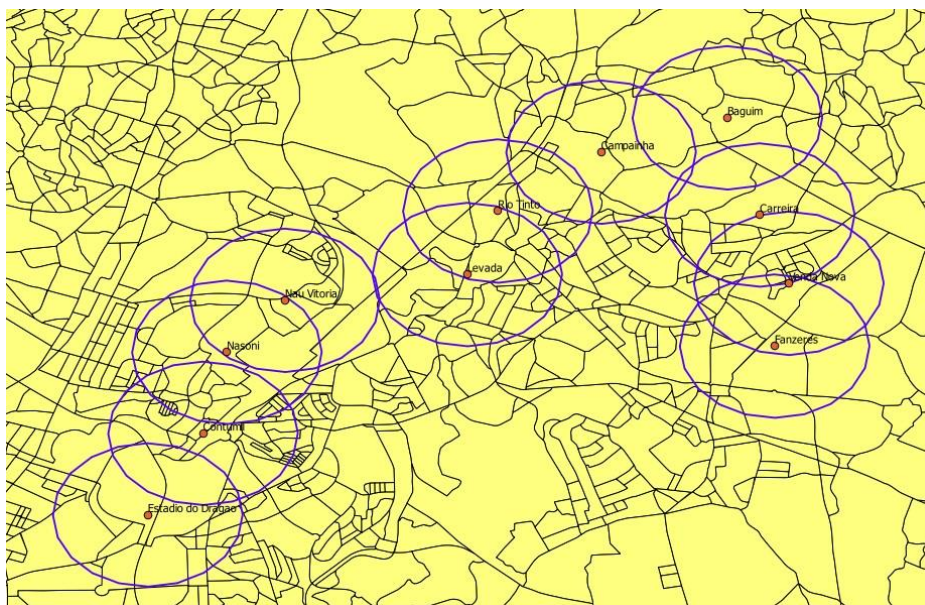


Figura 3.5 – Estações da Linha F

A impossibilidade de consultar os números das validações por estação e por ano - o MP apenas disponibiliza os números das validações totais por ano - a solução encontrada foi utilizar os dados das validações presentes no relatório “*Expansão da Rede de Metro do Porto – Estimativa da Procura*”. Os valores presentes no relatório referem-se ao ano de 2009. No ano de 2009, não se registou nenhuma expansão na infraestrutura da rede, pelo que se admite que o valor das validações é fiável, não havendo o período de adaptação que poderia adulterar os valores finais. Devido a esta situação, foram adoptados os valores das validações de 2010 para o considerar como ano base. .

O objectivo do Modelo será então estimar as validações - tendo o ano base de 2010 - para o ano de 2013, em que existem as validações totais disponíveis. Devido à conjuntura actual e ao difícil prognóstico de crescimento da procura, era possível admitir que a população utilizou mais os transportes públicos devido à crise (menor custo monetário de transporte), como se poderia admitir que com a taxa de desemprego tão elevada a população deixaria de se deslocar para o posto de trabalho, admitiu-se taxa de crescimento nula. Quer isto dizer que do ano de 2010 para o ano de 2013 não foi aplicada nenhuma taxa de crescimento, tendo sido admitido que o aumento da procura se devia única e exclusivamente à abertura das estações da rede.

Conforme referido, para o presente efeito, não foram consideradas todas as estações da infra-estrutura no estudo pormenorizado. O critério de selecção passou pela exclusão das estações centrais da cidade do Porto, nomeadamente as estações dos trechos compreendidos entre a estação do Hospital de São João e Trindade e do trecho compreendido entre o Estádio do Dragão e o Aeroporto. A opção por este critério justifica-se pelo facto do Modelo assentar sobre o princípio de similaridade entre estações, que manifestamente não apresentam características comparáveis às supracitadas.

Em jeito de conclusão, das 81 estações da rede do MP, serão alvo de análise pormenorizada apenas 53. Na Tabela 3.3 estão presentes as estações em análise com os parâmetros e caracterização que serão explicados em 3.4.3.

Tabela 3.3 – Estações e os seus parâmetros caracterizados

Estações	Habitantes	Emprego	Comércio	Escola	Hospitais	Tep (seg)	Interface
Aliados	1529	14342	2	0	0	62	44
Alto de Pega	2510	190	0	0	0	2513	0
Araújo	1359	378	0	0	0	1231	2
Árvore	587	365	0	0	0	2180	0
Azurara	858	33	0	0	0	2228	0
Baguim	2158	121	0	0	0	1260	0
Brito Capelo	3904	4008	0	0	0	1689	6
Câmara de Gaia	3633	5354	0	0	0	463	7
Câmara de Matosinhos	6406	4700	0	1	0	1464	6
Campainha	3382	1244	0	0	0	1154	2
Cândido dos Reis	1114	70	0	0	0	996	1
Carreira	2326	165	0	0	0	1368	2
Castêlo da Maia	2645	533	0	0	0	2038	0
Contumil	3348	567	0	0	0	614	7
Custiô	1649	523	0	0	0	1319	2
D. João II	5231	3613	0	0	0	707	7
Espaço Natureza	127	49	0	0	0	1993	0
Estádio do Mar	2699	472	0	0	0	1076	3
Fânzeres	2589	834	0	0	0	1553	4
Fórum Maia	4826	4065	0	0	0	1609	4
General Torres	3130	2875	0	0	0	361	7
ISMAI	1221	67	0	1	0	2149	0
Jardim do Morro	2294	3281	0	0	0	265	8
João de Deus	5494	5517	1	1	1	562	8
Levada	4003	2473	0	1	0	943	7
Lidador	2142	286	0	0	0	1470	1
Mandim	239	0	0	0	0	1904	0
Matosinhos Sul	7824	7779	0	0	0	1564	8
Mercado	1315	3358	0	0	0	1805	6

Mindelo	861	63	0	0	0	2226	0
Modivas Centro	551	388	0	0	0	1756	0
Modivas Sul	96	0	0	0	0	1684	0
Nasoni	2440	882	0	0	0	724	1
Nau Vitória	1063	852	0	0	0	806	3
Parque de Real	6537	2174	0	1	0	1319	5
Parque Maia	2110	1987	0	0	0	1462	4
Pedras Rubras	2537	1914	0	0	0	1520	1
Pedro Hispano	3088	1205	0	0	1	1194	8
Pias	1581	189	0	0	0	1100	0
Portas Fronhas	2803	356	0	0	0	3114	0
Póvoa de Varzim	5563	4966	0	0	1	3317	0
Rio Tinto	2471	494	0	0	0	1025	2
S. Bento	3507	14910	0	0	0	143	41
Santa Clara	2002	478	0	0	0	2330	0
São Brás	4943	930	0	0	0	2670	0
Senhor de Matosinhos	1472	921	0	0	0	1905	4
Sto Ovídio	5453	2182	0	0	0	1147	6
Varziela	1277	607	0	0	0	2452	0
Vasco da Gama	5458	739	0	0	0	938	3
Venda Nova	2658	628	0	0	0	1469	3
Vila do Conde	2072	339	0	1	0	2894	0
Vilar do Pinheiro	512	56	0	0	0	1576	0
Zona Industrial	194	149	0	0	0	1758	0

3.4.2. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE CADA ESTAÇÃO

Para obter o número de habitantes presentes na Tabela 3.3 foi utilizado o software informático QGIS (Quantum Geographic Information System). O QGIS é uma plataforma gratuita de sistemas de informação geográfica que permite visualizar e editar dados geográficos. O procedimento utilizado foi o de importação de dados geográficos por subsecções disponibilizados pelo INE (Instituto Nacional de Estatística) e posterior alocação no software. Foram importados os BGRI (Base Geográfica de Referenciação de Informação) de todos os concelhos do Grande Porto, com excepção do concelho de Espinho por não se fazer passar nenhuma linha do MP no seu concelho. Na Figura 3.6 está presente o grafismo do software com a importação dos dados por concelho.

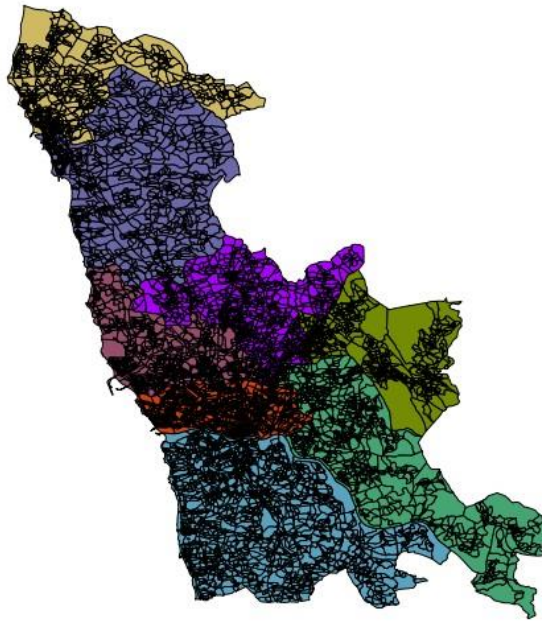


Figura 3.6 - Mapa do Grande Porto (importada do QGIS)

Depois de ser obtido o mapa do Grande Porto no software, foram referenciadas todas as estações do MP. Em cada uma das 81 estações do MP foram criadas circunferências de raio igual a 500 metros por, como foi explicado anteriormente, se admitir que é esta a distância que uma pessoa se predispõe a efectuar para usufruir dos serviços.

Na Figura 3.7 está o resultado final desta primeira etapa de desenvolvimento do Modelo.

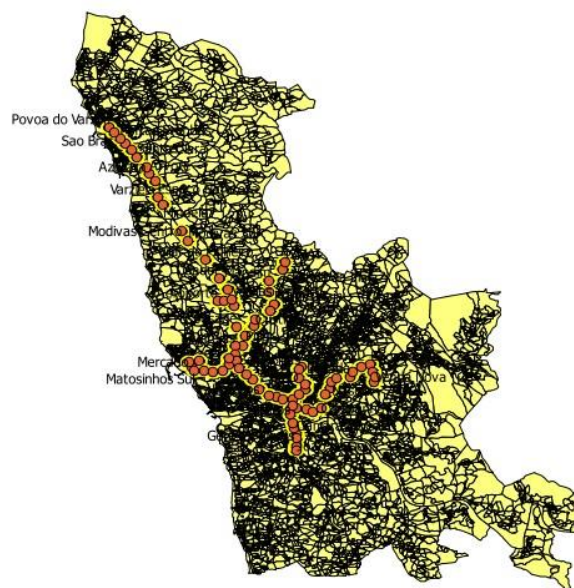


Figura 3.7 - Estações do MP no software QGIS

3.4.3. CARACTERIZAÇÃO E METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS

A Tabela 3.3 mostra as cinco variáveis e os valores recolhidos que foram utilizados no Modelo para a estimação das validações, que são: Habitantes (H), Emprego (E), Pólos Geradores (PG), Tempo à Estação Principal (Tep) e Interface (I). Para o Autor, estas revelam-se as variáveis mais condicionantes na estimativa das validações. Assim, consideram-se três variáveis que caracterizam a Procura – H, E e PG – e duas variáveis que caracterizam a Oferta – Tep e I – apresentando-se seguidamente uma explicação detalhada da obtenção dos valores das mesmas.

- **Habitantes**

A metodologia explicada na secção 3.4.2 foi utilizada para se obter os dados dos habitantes abrangidos por cada estação. Com os raios desenhados e com o recurso aos dados importados no software QGIS foram registados os valores por subsecções e no final foram somados os habitantes para cada estação. Os dados importados tiveram como referência o CENSOS 2011. (INE, 2014)

Tendo em conta que a maioria dos raios das estações se intersectavam, houve a necessidade de fazer correcções com risco de existir duplicação dos valores da variável Habitantes. Para evitar a adulteração dos valores, quando parte da área de influência de uma estação interceptava a área de influência de outra ou outras estações, fazia-se um somatório dos valores da variável dessa área de influência conjunta e dividia-se os valores pelas estações afectadas.

- **Emprego**

Era esperado que os dados importados do INE para o software utilizado fossem relativos aos Habitantes e ao Emprego. Uma vez que os dados relativos à variável emprego disponibilizados pelo INE eram única e exclusivamente relativos à população empregada nas subsecções, ao invés do pretendido - número de postos de trabalho existentes em cada subsecção - os valores do emprego recolhidos para a Tabela 3.3 foram retirados dos estudos do “ATLAS e Ambiente da Grande Área Metropolitana do Porto”.(Pinho, P., 2009)

- **Pólos Geradores**

Outra das variáveis com um grau de interesse para a estimação das validações são os pólos geradores. Os pólos geradores são normalmente infraestruturas de dimensão considerável, que têm a característica de gerar ou atrair um importante número de validações. Para chegar aos valores do número de pólos geradores consideraram-se que os mais importantes seriam: hospitais, centros comerciais e escolas com mais de 1000 alunos, dentro da área de influência de cada estação.

- **Interface**

Com características diferentes das anteriores três variáveis, que se relacionam com a procura, o número de Interface e o Tempo à Estação Principal (ponto seguinte) são variáveis relacionadas com a oferta existente. Esta é uma das características do fenómeno de intermodalidade actual que é tida em conta.

Os valores da variável Interface foram obtidos após a consulta ao site da STCP. Foram verificadas as linhas da rede da STCP e contabilizado o número total de linhas que tinham uma paragem coincidente com as estações do MP. Adoptou-se esta variável por se considerar que teria influência no modo como as validações do MP poderiam variar. (Porto, S.-S.T.C., 2014)

- **Tempo à Estação Principal**

Nesta variável a estação principal considerada foi a estação da Trindade, justificada pelo elevado número de validações, por ser uma estação na qual se faz a interligação de todas as linhas e por ser uma estação central.

Esta variável pode ser importante na medida em que em função do tempo de percurso de determinada viagem, o passageiro pode alterar o seu modo de viagem, consoante as suas vontades/necessidades. Foi consultado o site do MP³ e foi recolhido o tempo, em segundos, de percurso entre cada estação e a estação da Trindade. (Porto, M.d., 2014)

3.4.4. ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS AOS PARÂMETROS

Com as cinco variáveis de caracterização de cada estação bem definidas, procedeu-se ao seguinte passo: atribuição de níveis às estações. Este passo serve para classificar as estações consoante os valores de cada variável e assim facilitar a interação de cálculos. A classificação das variáveis baseia-se no princípio de que quanto menor o valor do nível, maior Procura terá a estação. A título de exemplo, ao nível dos Habitantes, é destacado na Tabela 3.4 que quanto mais habitantes tiver uma zona de influência de uma estação, menor será o nível do parâmetro. Os intervalos atribuídos a cada variável foram resultado de uma ponderação estatística, dividindo aproximadamente os valores de cada variável pelos três níveis.

Tabela 3.4 - Classes dos Parâmetros de Caracterização das Estações

Nível	Pólos Geradores				
	Habitantes (H)	Emprego (E)	(PG)	Interface (I)	Tempo a Estação Principal (Tep)
1	H>2500	E>2500	PG>1	I>6	Tep<600
2	1250<H<2500	1250<E<2500	PG=1	2<I<6	600<Tep<1200
3	H<1250	E<1250	PG=0	I<2	Tep>1200

3.4.5. DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS DAS ESTAÇÕES

Neste passo do Modelo o processo de resolução passa por uniformizar as estações segundo um nível global, para descortinar a influência de cada variável no resultado final. Foi calculado, seguidamente, o nível de cada estação segundo as seguintes cinco expressões matemáticas em que são atribuídos diferentes pesos a cada variável (houve uma tentativa de nas cinco expressões diferenciar a importância de cada variável para chegar à conclusão de qual dependia mais a precisão do modelo).

³ http://www.metrodoporto.pt/PageGen.aspx?WMCM_Paginald=16201

$$X1 = 2 * (0,2 * C_H + 0,2 * C_E + 0,2 * C_{PG} + 0,2 * C_I + 0,2 * C_{Tep}) \quad (3.1)$$

$$X2 = 2 * \left(\frac{1}{3} * C_H + \frac{1}{3} * C_E + \frac{1}{3} * C_{PG} \right) \quad (3.2)$$

$$X3 = 2 * (0,3 * C_H + 0,3 * C_E + 0,2 * C_{PG} + 0,1 * C_I + 0,1 * C_{Tep}) \quad (3.3)$$

$$X4 = 2 * (0,2 * C_H + 0,3 * C_E + 0,3 * C_{PG} + 0,1 * C_I + 0,1 * C_{Tep}) \quad (3.4)$$

$$X5 = 2 * (0,25 * C_H + 0,25 * C_E + 0,25 * C_{PG} + 0,25 * C_I) \quad (3.5)$$

Legenda:

C_H – Classe do nível de Habitantes

C_E – Classe do nível de Emprego

C_{PG} – Classe do nível de Pólos Geradores

C_I – Classe do nível de Interface

C_{Tep} – Classe do nível de Tempo à estação principal

Das cinco expressões anteriores, resultam cinco possíveis níveis diferentes para cada estação, compreendidos no intervalo [2;6], que caracterizarão assim a estação. O motivo da utilização de cinco expressões matemáticas nesta aplicação do Modelo à rede do MP relaciona-se com a tentativa de verificar com que variável é que se atingia a menor diferença entre as validações reais e as validações estimadas, daí cinco expressões matemáticas com diferentes pesos. Na Tabela 3.5 está presente a divisão dos níveis adoptados, dando origem à classificação final das estações que consta na Tabela 3.6.

Tabela 3.5 – Níveis Atribuídos às Estações

Níveis	Xi
1	$2 < X \leq 2,5$
2	$2,5 < X \leq 3,5$
3	$3,5 < X \leq 4,5$
4	$4,5 < X \leq 5,0$
5	$5,0 < X \leq 5,5$
6	$5,5 < X \leq 6$

3.4.6. ABORDAGEM GERAL DO PROBLEMA

Com as estações devidamente caracterizadas segundo os diferentes cinco pesos anteriormente explicados, inicia-se assim o seguinte e último passo. Para cada estação, foram atribuídos os pesos respectivos segundo as cinco diferentes expressões matemáticas.

Pela análise da Tabela 3.6, na qual constam os valores finais do nível de cada estação e as respectivas validações referentes ao ano de 2009, percebe-se também que as estações que não têm um número de validações atribuído serão as estações que serão alvo de aplicação do Modelo.

Tabela 3.6 - Estações com os níveis atribuídos

Estação	X1	X2	X3	X4	X5	Validações 2009
Aliados	1	2	2	1	1	1 139 966
Alto de Pega	5	4	4	5	4	62 845
Araújo	6	5	5	6	5	120 197
Árvore	6	6	6	6	6	46 757
Azurara	6	6	6	6	6	30 503
Baguim	6	5	5	6	5	
Brito Capelo	3	2	2	3	3	463 570
Câmara de Gaia	2	2	2	2	2	854 354
Câmara de Matosinhos	3	2	2	2	2	718 167
Campinha	4	4	4	4	3	
Cândido dos Reis	6	6	6	6	5	126 641
Carreira	6	5	5	6	5	
Castêlo da Maia	5	4	4	5	4	250 611
Contumil	3	4	3	4	3	
Custió	6	5	5	6	5	150 575
D. João II	2	2	2	2	2	1 521 748
Espaço Natureza	6	6	6	6	6	44 251
Estádio do Mar	3	4	3	4	3	368 920
Fânzeres	4	4	4	4	4	
Fórum Maia	3	2	2	3	3	910 650
General Torres	2	2	2	2	2	982 001
ISMAI	6	5	6	5	5	241 856
Jardim do Morro	2	3	2	3	2	367 406
João de Deus	1	1	1	1	1	1 933 720

Levada	2	2	2	2	2	
Lidador	6	5	5	6	5	104 345
Mandim	6	6	6	6	6	48 531
Matosinhos Sul	3	2	2	3	3	634 625
Mercado	3	3	3	3	3	345 287
Mindelo	6	6	6	6	6	136 735
Modivas Centro	6	6	6	6	6	87 983
Modivas Sul	6	6	6	6	6	55 303
Nasoni	5	5	5	5	4	
Nau Vitória	5	6	6	6	5	
Parque de Real	3	2	3	3	3	314 116
Parque Maia	4	4	4	4	4	255 264
Pedras Rubras	4	3	3	4	3	271 827
Pedro Hispano	3	3	3	3	3	371 782
Pias	5	5	5	5	4	83 102
Portas Fronhas	5	4	4	5	4	95 734
Póvoa de Varzim	3	2	2	2	2	536 407
Rio Tinto	5	5	5	5	4	
S. Bento	2	2	2	2	2	2 335 813
Santa Clara	6	5	5	6	5	137 716
São Brás	5	4	4	5	4	51 913
Senhor de Matosinhos	5	5	5	5	5	104 984
Sto Ovídio	3	3	3	3	3	
Trindade	3	5	4	4	3	
Varziela	6	5	5	6	5	120 864
Vasco da Gama	3	4	3	4	3	461 124
Venda Nova	5	4	4	4	4	
Vila do Conde	5	4	4	5	4	273 035
Vilar do Pinheiro	6	6	6	6	6	128 596
Zona Industrial	6	6	6	6	6	54 121

3.4.7. ABORDAGEM ESTRATIFICADA DO PROBLEMA

Para verificar se a qualidade da abordagem do modelo anterior era satisfatória, foi feita uma outra abordagem, uma abordagem mais estratificada do Modelo com a finalidade de comparar os resultados das validações totais.

Este modelo distingue-se do modelo anterior na medida em que as estimativas das validações calculadas serão agora realizadas por períodos do dia, a saber:

- **Período da manhã**

Compreendido entre as 5h e as 10h da manhã;

- **Período da tarde**

Compreendido entre as 17h e as 20h;

- **Período restante**

Período fora do intervalo dos dois períodos anteriores, isto é, das 10h às 17h e das 20h às 2h, hora em que os serviços do MP encerram.

Considerando separadamente os diferentes períodos do dia, será possível relacionar, à partida, com maior precisão as validações na rede. Exige portanto, uma reclassificação do nível atribuído às estações com as variáveis utilizadas anteriormente para a abordagem geral (H, E, PG, I, Tep).

Neste sentido, estudaram-se três novas expressões com diferentes pesos, adequados ao período do dia em que seria expectável que determinadas variáveis exercessem maior influência consoante o período do dia em questão. Serão agora apresentadas as três expressões matemáticas utilizadas na atribuição de nível às estações numa abordagem estratificada do Modelo. Será também explicado o porquê desta consideração.

$$X6 = 2 * (0,6 * C_H + 0,1 * C_E + 0,1 * C_{PG} + 0,1 * C_I + 0,1 * C_{Tep}) \quad (3.6)$$

Nesta expressão é visível uma maior importância para a variável Habitantes. Como era expectável, esta expressão foi a utilização para caracterizar e estimar as validações no período da manhã. Admite-se que as viagens realizadas neste período têm como origem a residência, pelo que seria de prever uma forte relação entre o número de habitantes e validações. Apesar deste fenómeno, as outras variáveis não foram postas de lado por existir sempre a possibilidade de nem todas as viagens terem origem na residência (p.e. trabalhadores em regime de turnos). A atribuição de pesos consideravelmente menores em comparação com os Habitantes é então explicada por este motivo.

$$X7 = 2 * (0,1 * C_H + 0,35 * C_E + 0,35 * C_{PG} + 0,1 * C_I + 0,1 * C_{Tep}) \quad (3.7)$$

A segunda expressão da abordagem estratificada, remetida para o período da tarde, tenta fazer uma previsão do caminho inverso da anterior, ou seja, se no período da manhã é previsível que os passageiros tenham como origem a residência, é também previsível que no horário do período da tarde regressem a casa. Desta vez com origem nos empregos e/ou pólos geradores, os pesos a atribuir

foram maiores nestas duas variáveis, sem esquecer a lógica da alínea anterior, e menores nos três parâmetros sobranes.

$$X8 = 2 * (0,2 * C_H + 0,2 * C_E + 0,2 * C_{PG} + 0,2 * C_I + 0,2 * C_{Tep}) \quad (3.8)$$

Nesta última expressão, é visível uma distribuição uniforme dos pesos que cada variável terá para a classificação da estação. Esta expressão foi utilizada para a caracterização e estimação das validações no 3.º período, o período das restantes horas do dia e foram consideradas todas as variáveis. Entendeu-se seguir esta lógica por ser o horário do dia no qual as validações apresentam valores francamente menores por fazer parte do horário entre picos e fins-de-semana.

4

RESULTADOS: MODELO APLICADO AO CASO DE ESTUDO NA REDE DE METRO DO PORTO

4.1. ENQUADRAMENTO

Aproximando-se esta dissertação do seu término, servirá este capítulo para fazer uma apresentação dos resultados obtidos pelo desenvolvimento do Modelo. Serão apresentadas as tabelas mais significativas, ficando as demais para consulta no capítulo Anexos.

No subcapítulo 4.2 estarão representadas as tabelas do problema. Serão apresentadas as tabelas dos níveis das estações, as tabelas dos incrementos na rede provocados pelas duas expansões analisadas, os seus valores mínimos, médios e máximos e as tabelas com a comparação e respectiva validação do Modelo de estimação da procura na rede do MP. O subcapítulo 4.3 terá semelhante estrutura desta feita com a abordagem estratificada do Modelo.

4.2. RESULTADOS DO ABORDAGEM GERAL

Nos seguintes subcapítulos serão apresentados os resultados das cinco expressões utilizadas. Depois da apresentação das mesmas, no subcapítulo 4.2.6 - Comparação Final, é feita uma consideração final em que se mostra a expressão do Modelo que mais se aproxima das validações reais de 2013 e, consequentemente qual será a melhor abordagem. De destacar que se considerou que o acréscimo (validações extra com origem nas estações existentes) provocado na rede pela expansão da Linha F foi de 70% e o acréscimo pela expansão da Linha D foi de 100%.

4.2.1. RESULTADOS EXPRESSÃO X1

Tabela 4.1 – Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X1

	Expressão X1		
	Mínimo	Média	Máximo
Nível 2	367 406	1 212 264	2 335 813
Nível 3	314 116	512 465	910 650
Nível 4	255 264	263 545	271 827
Nível 5	51 913	131 746	273 035
Nível 6	30 503	102 186	241 856

Tabela 4.2 – Incremento de Validações na Rede Provocados por X1

	Validações		
	Mínimo	Média	Máximo
Estações Existentes 2010	53 547 220		
Estações Gondomar	1 460 708	2 983 176	5 365 969
Expansão Linha F	1 022 496	2 088 223	3 756 178
Estação Santo Ovídio	314 116	512 465	910 650
Expansão Linha D	314 116	512 465	910 650
Incremento Total na Rede	3 111 436	6 096 329	10 943 447

4.2.2. RESULTADOS EXPRESSÃO X2

Tabela 4.3 - Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X2

	Expressão X2		
	Mínimo	Média	Máximo
Nível 2	314 116	946 492	2 335 813
Nível 3	271 827	339 075	371 782
Nível 4	51 913	227 431	461 124
Nível 5	83 102	132 955	241 856
Nível 6	30 503	75 942	136 735

Tabela 4.4 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X2

	Validações		
	Mínimo	Média	Máximo
Estações Existentes 2010	53 547 220		
Estações Gondomar	884 679	2 463 977	5 284 468
Expansão Linha F	619 275	1 724 784	3 699 128
Estação Santo Ovídio	271 827	339 075	371 782
Expansão Linha D	271 827	339 075	371 782
Incremento Total na Rede	2 047 608	4 866 911	9 727 160

4.2.3. RESULTADOS EXPRESSÃO X3

Tabela 4.5 - Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X3

Expressão X3			
	Mínimo	Média	Máximo
Nível 2	367 406	951 337	2 335 813
Nível 3	271 827	355 509	461 124
Nível 4	51 913	164 900	273 035
Nível 5	83 102	117 398	150 575
Nível 6	30 503	91 025	241 856

Tabela 4.6 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X3

Validações			
	Mínimo	Média	Máximo
Estações Existentes 2010	53 547 220		
Estações Gondomar	1 157 883	2 362 162	4 460 198
Expansão Linha F	810 518	1 653 514	3 122 139
Estação Santo Ovídio	271 827	355 509	461 124
Expansão Linha D	271 827	355 509	461 124
Incremento Total na Rede	2 512 055	4 726 695	8 504 585

4.2.4. RESULTADOS EXPRESSÃO X4

Tabela 4.7 - Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X4

Expressão X4			
	Mínimo	Média	Máximo
Nível 2	536 407	1 158 082	2 335 813
Nível 3	314 116	486 777	910 650
Nível 4	255 264	339 284	461 124
Nível 5	51 913	145 510	273 035
Nível 6	30 503	92 875	150 575

Tabela 4.8 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X4

	Validações		
	Mínimo	Média	Máximo
Estações Existentes 2010	53 547 220		
Estações Gondomar	1 752 798	3 084 860	5 178 104
Expansão Linha F	1 226 959	2 159 402	3 624 673
Estação Santo Ovídio	314 116	486 777	910 650
Expansão Linha D	314 116	486 777	910 650
Incremento Total na Rede	3 607 989	6 217 815	10 624 077

4.2.5. RESULTADOS EXPRESSÃO X5

Tabela 4.9 – Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X5

	Expressão X5		
	Mínimo	Média	Máximo
Nível 2	367 406	1 045 128	2 335 813
Nível 3	271 827	460 211	910 650
Nível 4	62 845	153 215	273 035
Nível 5	104 345	138 397	241 856

Tabela 4.10 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X5

	Validações		
	Mínimo	Média	Máximo
Estações Existentes 2010	53 547 220		
Estações Gondomar	1 475 475	2 993 601	5 974 821
Expansão Linha F	1 032 833	2 095 521	4 182 375
Estação Santo Ovídio	271 827	460 211	910 650
Expansão Linha D	271 827	460 211	910 650
Incremento Total na Rede	3 051 962	6 009 544	11 978 496

4.2.6. COMPARAÇÃO FINAL

Tabela 4.11 – Resultados Finais do Modelo Geral

Valor Real 2013	55930831	Diferença
X1	Val. 2010 + min	56 658 656
	Val. 2010 + med	59 643 549
	Val. 2010 + máx	64 490 667
X2	Val. 2010 + min	55 594 828
	Val. 2010 + med	58 414 131
	Val. 2010 + máx	63 274 380
X3	Val. 2010 + min	56 059 275
	Val. 2010 + med	58 273 915
	Val. 2010 + máx	62 051 805
X4	Val. 2010 + min	57 155 209
	Val. 2010 + med	59 765 035
	Val. 2010 + máx	64 171 297
X5	Val. 2010 + min	56 599 182
	Val. 2010 + med	59 556 764
	Val. 2010 + máx	65 525 716

A Tabela 4.11 resume o trabalho realizado até este ponto. Nela estão reunidos os resultados do Modelo segundo as cinco expressões matemáticas definidas anteriormente. Antes de tirar ilações da mesma, importa explicitar o significado de cada designação. Na primeira linha está o valor real das validações em 2013; na segunda linha, dividida em três, são apresentados os valores das validações – por expressão – estimadas com o valor real das validações em 2010; por linha também, mas na última coluna, é feita a diferença entre os valores das validações de 2010 com a soma das estimativas realizadas para 2013 e os valores reais de 2013.

É possível verificar então que as expressões do Modelo que melhor se aproximam dos valores reais são as expressões X2 e X3. Recordando as duas expressões, a primeira deu igual peso às variáveis H, E e PG e não considerava para a análise as variáveis I e Tep. A segunda expressão deu mais peso à variável E e relativamente menos peso às variáveis I e Tep.

Concluindo a análise à Tabela 4.11, há dois factos a retirar: o Modelo apresentou resultados consideravelmente próximos dos valores reais de 2013, a sua validade é confirmada; a segunda conclusão que se retira é que o Modelo, em todas as cinco expressões, se aproximou sempre pelos valores mínimos – o que significa que as estações estimadas se aproximaram sempre das estações de referência pelos valores mínimos.

4.3. RESULTADOS DA ABORDAGEM ESTRATIFICADA

Neste subcapítulo estão presentes os resultados da aplicação do Modelo à rede, desta feita na abordagem estratificada. Como foi dito anteriormente, a expressão X6 está analisada para o Período da Manhã; a expressão X7 para o Período da Tarde; e a expressão X8 para o Período Restante. A metodologia foi em tudo semelhante à abordagem geral e também será apresentada no subcapítulo 4.3.4 uma tabela síntese dos resultados quantitativos e qualitativos do Modelo.

4.3.1. RESULTADOS EXPRESSÃO X6 – PERÍODO DA MANHÃ

Tabela 4.12 - Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X6

Expressão 7			
	Mínimo	Média	Máximo
Nível 2	54 142	177 105	783 831
Nível 4	24 293	47 197	99 227
Nível 6	5 462	29 767	59 391

Tabela 4.13 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X6

Validações			
	Mínimo	Média	Máximo
Estações Existentes 2010	53 547 220		
Estações Gondomar	373 344	1 104 081	4 375 452
Expansão Linha F	261 341	772 857	3 062 816
Estação Santo Ovídio	54 142	177 105	783 831
Expansão Linha D	54 142	177 105	783 831
Incremento Total na Rede	742 968	2 231 149	9 005 930

4.3.2. RESULTADOS EXPRESSÃO X7 – PERÍODO DA TARDE

Tabela 4.14 - Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X7

Expressão 8			
	Mínimo	Média	Máximo
Nível 3	55 033	104 115	182 860
Nível 4	36 223	44 885	53 547
Nível 5	41 090	53 504	66 754
Nível 6	2 921	17 508	40 783

Tabela 4.15 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X7

		Validações		
		Mínimo	Média	Máximo
Estações	Existentes	53 547 220		
2010				
Estações Gondomar		229 129	397 052	640 581
Expansão Linha F		160 390	277 936	448 407
Estação Santo Ovídio		55 033	104 115	182 860
Expansão Linha D		55 033	104 115	182 860
Incremento	Total na			
Rede		499 585	883 218	1 454 708

4.3.3. RESULTADOS EXPRESSÃO X7 – PERÍODO RESTANTE

Tabela 4.16 – Valores Mínimos, Médios e Máximos Da Expressão X8

Expressão 6			
	Mínimo	Média	Máximo
Nível 2	224 283	612 970	1 297 003
Nível 3	179 943	290 381	442 679
Nível 4	109 058	117 022	124 987
Nível 5	23 160	63 325	132 719
Nível 6	15 578	47 175	128 164

Tabela 4.17 - Incremento de Validações na Rede Provocados por X8

Validações			
	Mínimo	Média	Máximo
Estações Existentes 2010	53 547 220		
Estações Gondomar	832 038	1 538 745	2 769 127
Expansão Linha F	582 426	1 077 122	1 938 389
Estação Santo Ovídio	179 943	290 381	442 679
Expansão Linha D	179 943	290 381	442 679
Incremento Total na Rede	1 774 350	3 196 629	5 592 875

4.3.4. COMPARAÇÃO FINAL

Os três períodos considerados na abordagem estratificada apresentaram resultados em sintonia com a abordagem geral, ou seja, a aproximação da estimativa aconteceu pelos valores mínimos. Na Tabela 4.18 está representado um dia completo de validações. Escolhendo aleatoriamente as validações pelos valores mínimos, poderiam ser também os valores médios ou máximos, para a estimação das validações no ano de 2013 o processo foi o seguinte: somaram-se os resultados mínimos dos três períodos do dia e somaram-se aos valores das validações do ano base (2010); por fim, tal como na abordagem geral, subtraíram-se os valores estimados aos valores reais de 2013 e compararam-se os resultados.

Tabela 4.18 - Resultados Finais do Modelo Geral

Valor Real 2013	55930831		Diferença
Total Dia	Val. 2010 + min	56 564 123	633 292
	Val. 2010 + méd.	59 858 217	3 927 386
	Val. 2010 + máx.	69 600 733	13 669 902

4.4. COMPARAÇÃO ENTRE O MODELO GERAL E O MODELO ESTRATIFICADO

Neste ponto já são conhecidos os resultados das estimativas para o Modelo Geral e para o Modelo Estratificado, pelo que já é possível fazer um breve comentário.

De ambos os Modelos resultam estimativas percentualmente bastante favoráveis à sua validação, tendo em conta o volume anual de validações da rede do MP – sempre na ordem dos 55 Milhões. Devido à contabilização das validações por períodos do dia e à adequação dos pesos às realidades-padrão do senso comum – em que uma pessoa sai de casa de manhã para o trabalho e ao fim da tarde faz o caminho inverso – até era expectável que o desenvolvimento do Modelo Estratificado conduzisse a estimativas de validações mais próximas do que as validações estimadas pelo Modelo Geral. Esta premissa não se verificou - estando na Tabela 4.19 apresentada a melhor estimativa de cada Modelo – verificando-se que o Modelo assente na geração de viagens por estimativa diária não estratificada apresenta um melhor ajuste aos resultados reais, tal fato porderá ser explicado pela natureza do Modelo, isto é, Modelo agregado de Procura, não compatível com o nível de precisão estratificada por períodos do dia.

Tabela 4.19 – Comparação de Resultados entre o Modelo Geral e o Modelo Estratificado

	Validações 2013	Validações Estimadas	Diferença
Modelo Geral	55 930 831	56 059 275	128 444
Modelo Estratificado	55 930 831	56 564 123	633 292

5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No fim desta dissertação, averigua-se premetente a compilação geral das principais considerações relativamente à execução e aplicação desta tipologia de Modelo, assim como as dificuldades sentidas.

A utilização de Modelos matemáticos de Procura por Transporte tem-se revelado ao longo das últimas décadas um alicerce muito forte na estimação de viagens. Foram analisados este tipo de Modelos segundo uma aplicação ao sector de transportes e verificadas as suas vantagens. De destacar que, mesmo que os Modelos Desagregados de Procura sejam considerados um melhoramento dos Modelos Agregados, o Modelo Quatro Passos – **Geração de Viagens, Distribuição de Viagens, Divisão Modal e Afecção de Tráfego** – é ainda a base da modelação matemática neste sector.

Os Modelos de Procura por Transporte têm como finalidade estimar as viagens que se irão realizar no futuro, com vista à adequação da Oferta à Procura expectável, e foi esse procedimento adoptado nesta dissertação.

Conforme se menciona no Capítulo 1, o Modelo utilizado baseia-se em dois princípios: *o da semelhança entre o comportamento da Procura futura e o comportamento observado em linhas com características semelhantes quer ao nível de Oferta, quer ao nível do ambiente socioeconómico e demográfico em que as linhas se inserem; Modelo especialmente vocacionado para a aplicação a situações de introdução de novas linhas em redes já existentes ou de futuras expansões de linhas ferroviárias urbanas*. Como tal, a sua aplicação às duas mais recentes expansões da rede de Metro do Porto revela-se condizente com os seus princípios – a rede de Metro do Porto é relativamente recente, a sua primeira frente de obra data de 1999 e a sua primeira linha de 2002.

Nesta dissertação foram feitas duas abordagens com a finalidade de estimar as validações para o ano de 2013, tendo como ano base o ano de 2010, uma abordagem geral e uma abordagem estratificada – dividida em períodos do dia. Para as duas diferentes abordagens foram considerados as mesmas cinco variáveis: Habitantes, Emprego, Pólos Geradores, Interface e Tempo à Estação Principal – as três primeiras caracterizam a Procura e as duas últimas a oferta. Seguidamente, utilizando expressões matemáticas, foram atribuídos pesos às variáveis referidas e definidos níveis para as estações conforme os resultados obtidos. Sendo uma metodologia de simples execução em redes conhecidas, o Modelo foi desenvolvido com o propósito de definir três escalas para indexação das validações – pelos valores mínimos, médios e máximos. O objectivo final seria comparar as duas abordagens e chegar à conclusão de qual seria mais válida.

Ambas as abordagens resultaram em estimativas com aproximações pelos valores mínimos. Porém, este facto não indica que o Modelo foi mal formulado ou que não se torna válido. Na verdade, o objectivo de criar estas escalas foi o da definição de um intervalo de valores admissível das validações

e desta forma confirmar que poderia ser validado e aplicado à rede. Era expectável que o Modelo se aproximasse pelos valores médios, no entanto o resultado obtido para o ano em questão (2013) sugere que o Modelo, neste caso concreto, se rege pelos valores mínimos – o que só por si prova que o Modelo produz aproximações satisfatórias.

Fazendo uma comparação entre as duas abordagens, pelos valores apresentados na Tabela 4.19 do subcapítulo 4.4, é possível concluir que a abordagem geral mais agregada se aproximou mais dos valores reais. A abordagem geral resultou numa diferença de 128444 validações e a abordagem estratificada por períodos do dia de 633292 validações. Pode-se concluir então que, tendo a abordagem estratificada a agravante de implicar um grau de detalhe mais elevado na sua aplicação, a melhor abordagem para este tipo de Modelo será a abordagem geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Button, David A. Hensher and Kenneth J. - Handbook of Transport Modelling. 2000.
- Cardoso, Carlos Paiva - Modelagem em Tráfego e Transporte. Universidade de São Paulo. (2005).
- Easa, M. S. - Urban Trip Distribution in Pratica - I: Conventional Analysis (Reviewed by the Urban Transportation Division). *Journal of Transportation Engineering*. Vol. 119. (1993).
- Ewing, R. - Measuring Sprawl and its Impact. 2002.
- Florian, M. Gaudry and C. Lardinois and M. - A Two-Dimensional Framework for the Understanding of Transportation Planning Models. Transportation Research Engineering, 1988.
- Horowitz, A. J. - Subarea Focusing with Combined Models of Spacial Interaction and Equilibrium Assignment. Transportation Research Record, 1990.
- INE - 2014. Disponível em WWW: <<http://mapas.ine.pt/download/index2011.phtml>>.
- Legrazie, Rodrigo - Planejamento, Modelagem e Simulação na Engenharia. (2012).
- Lobo, António Manuel Cabral Vieira - Análise de Exploração de Redes Urbanas de Transporte Ferroviário - O Caso do Metro do Porto. FEUP, 2008.
- Notícias, Jornal de - Crise "congela" segunda fase do Metro do Porto. *Jornal de Notícias*. (2010). Disponível em WWW: <http://www.jn.pt/PaginalInicial/Economia/Interior.aspx?content_id=1708869>.
- Ortuzar, J de; Willumsen, Luis G - Modelling Transport. 1994. 047194193X
- Pinho, Paulo - ATLAS e Ambiente da Grande Área Metropolitana do Porto. FEUP, 2009.
- Porto, Metro do - 2014. Disponível em WWW: <http://www.metrodoporto.pt/PageGen.aspx?WMCM_PaginaId=23939>.
- Porto, STCP - Sociedade Transportes Colectivos - 2014. Disponível em WWW: <<http://www.stcp.pt/pt/viajar/paragens/>>.
- Samdahl, N. J. Pedersen and R. D. - Highway Traffic Data for Urbanized Area Project Planning and Design. Nacional Cooperative Highway Research Program Report, 1982.
- Viegas, José M. - A Utilização de Modelos Matemáticos Para Estimação da Procura De Transportes. (2000).

ANEXOS

ANEXO A – ESTIMAÇÃO DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X1

ANEXO B - ESTIMAÇÃO DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X2

ANEXO C - ESTIMAÇÃO DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X3

ANEXO D – ESTIMATIVA DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X4

ANEXO E – ESTIMATIVAS DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X5

ANEXO F – ESTIMATIVA DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X6

ANEXO G – ESTIMATIVA DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X7

ANEXO H – ESTIMATIVA DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X8

ANEXO I – COORDENADAS GEOGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES DO MP

ANEXO A – ESTIMAÇÃO DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X1

Estação	Nível Final	1º S. (07)	2º S. (07)	2º/1º	1º S. (09)	2º S. (09)	Validações 2009
Aliados	1	510 384	550 726	1,08	548 313	591 653	1 139 966
João de Deus	1	1 125 716	1 244 280	1,11	918 491	1 015 229	1 933 720
Câmara de Gaia	2	387 117	404 668	1,05	417 708	436 646	854 354
D. João II	2	0	0	1,05	742 316	779 432	1 521 748
General Torres	2	397 741	433 748	1,09	469 738	512 263	982 001
Jardim do Morro	2	147 561	171 402	1,16	169 972	197 434	367 406
S. Bento	2	937 548	1 040 731	1,11	1 106 991	1 228 822	2 335 813
Levada	2						
Brito Capelo	3	218 084	228 555	1,05	226 351	237 219	463 570
Câmara de Matosinhos	3	367 598	339 510	0,92	373 347	344 820	718 167
Estádio do Mar	3	182 858	181 972	1,00	184 908	184 012	368 920
Fórum Maia	3	426 173	449 513	1,05	443 189	467 461	910 650
Matosinhos Sul	3	275 165	306 959	1,12	299 982	334 643	634 625
Mercado	3	130 331	157 799	1,21	156 185	189 102	345 287
Parque de Real	3	152 480	150 267	0,99	158 206	155 910	314 116
Pedro Hispano	3	189 514	187 335	0,99	186 966	184 816	371 782
Póvoa de Varzim	3	251 238	281 555	1,12	252 942	283 465	536 407
Vasco da Gama	3	216 977	212 986	0,98	232 702	228 422	461 124
Contumil	3						
Sto Ovídio	3						
Trindade	3						
Parque Maia	4	96 553	111 431	1,15	118 502	136 762	255 264
Pedras Rubras	4	151 889	143 602	0,95	139 725	132 102	271 827
Campinha	4						
Fânzeres	4						
Alto de Pega	5	33 281	33 706	1,01	31 223	31 622	62 845
Castêlo da Maia	5	130 050	127 262	0,98	126 663	123 948	250 611
Pias	5	41 764	43 004	1,03	40 943	42 159	83 102

Portas Fronhas	5	41 642	45 433	1,09	45 783	49 951	95 734
São Brás	5	20 114	24 082	1,20	23 626	28 287	51 913
Senhor de Matosinhos	5	73 313	42 930	0,59	66 212	38 772	104 984
Vila do Conde	5	103 372	115 556	1,12	128 920	144 115	273 035
Nasoni	5						
Nau Vitória	5						
Rio Tinto	5						
Venda Nova	5						
Araújo	6	53 865	60 670	1,13	56 528	63 669	120 197
Árvore	6	23 279	27 064	1,16	21 621	25 136	46 757
Azurara	6	16 315	17 206	1,05	14 846	15 657	30 503
Cândido dos Reis	6	45 466	52 229	1,15	58 937	67 704	126 641
Custió	6	59 109	64 200	1,09	72 179	78 396	150 575
Espaço Natureza	6	34 368	38 346	1,12	20 915	23 336	44 251
ISMAI	6	91 515	97 054	1,06	117 376	124 480	241 856
Lidador	6	53 653	55 523	1,03	51 279	53 066	104 345
Mandim	6	21 973	22 025	1,00	24 237	24 294	48 531
Mindelo	6	58 869	64 506	1,10	65 244	71 491	136 735
Modivas Centro	6	46 109	48 284	1,05	42 978	45 005	87 983
Modivas Sul	6	24 602	27 427	1,11	26 150	29 153	55 303
Santa Clara	6	67 709	71 606	1,06	66 932	70 784	137 716
Varziela	6	52 202	56 835	1,09	57 864	63 000	120 864
Vilar do Pinheiro	6	64 772	66 138	1,02	63 627	64 969	128 596
Zona Industrial	6	32 413	29 053	0,90	28 540	25 581	54 121
Baguim	6						
Carreira	6						

ANEXO B - ESTIMAÇÃO DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X2

Estação	Nível Final	1º S. (07)	2º S. (07)	2º/1º	1º S. (09)	2º S. (09)	Validações 2009
João de Deus	1	1 125 716	1 244 280	1,11	918 491	1 015 229	1 933 720
Aliados	2	510 384	550 726	1,08	548 313	591 653	1 139 966
Brito Capelo	2	218 084	228 555	1,05	226 351	237 219	463 570
Câmara de Gaia	2	387 117	404 668	1,05	417 708	436 646	854 354
Câmara de Matosinhos	2	367 598	339 510	0,92	373 347	344 820	718 167
D. João II	2	0	0	1,05	742 316	779 432	1 521 748
Fórum Maia	2	426 173	449 513	1,05	443 189	467 461	910 650
General Torres	2	397 741	433 748	1,09	469 738	512 263	982 001
Matosinhos Sul	2	275 165	306 959	1,12	299 982	334 643	634 625
Parque de Real	2	152 480	150 267	0,99	158 206	155 910	314 116
Póvoa de Varzim	2	251 238	281 555	1,12	252 942	283 465	536 407
S. Bento	2	937 548	1 040 731	1,11	1 106 991	1 228 822	2 335 813
Levada	2						
Jardim do Morro	3	147 561	171 402	1,16	169 972	197 434	367 406
Mercado	3	130 331	157 799	1,21	156 185	189 102	345 287
Pedras Rubras	3	151 889	143 602	0,95	139 725	132 102	271 827
Pedro Hispano	3	189 514	187 335	0,99	186 966	184 816	371 782
Sto Ovídio	3						
Alto de Pega	4	33 281	33 706	1,01	31 223	31 622	62 845
Castêlo da Maia	4	130 050	127 262	0,98	126 663	123 948	250 611
Estádio do Mar	4	182 858	181 972	1,00	184 908	184 012	368 920
Parque Maia	4	96 553	111 431	1,15	118 502	136 762	255 264
Portas Fronhas	4	41 642	45 433	1,09	45 783	49 951	95 734
São Brás	4	20 114	24 082	1,20	23 626	28 287	51 913
Vasco da Gama	4	216 977	212 986	0,98	232 702	228 422	461 124
Vila do Conde	4	103 372	115 556	1,12	128 920	144 115	273 035
Campainha	4						
Contumil	4						

Fânzeres	4						
Venda Nova	4						
Araújo	5	53 865	60 670	1,13	56 528	63 669	120 197
Custió	5	59 109	64 200	1,09	72 179	78 396	150 575
ISMAI	5	91 515	97 054	1,06	117 376	124 480	241 856
Lidador	5	53 653	55 523	1,03	51 279	53 066	104 345
Pias	5	41 764	43 004	1,03	40 943	42 159	83 102
Santa Clara	5	67 709	71 606	1,06	66 932	70 784	137 716
Senhor de Matosinhos	5	73 313	42 930	0,59	66 212	38 772	104 984
Varziela	5	52 202	56 835	1,09	57 864	63 000	120 864
Baguim	5						
Carreira	5						
Nasoni	5						
Rio Tinto	5						
Trindade	5						
Árvore	6	23 279	27 064	1,16	21 621	25 136	46 757
Azurara	6	16 315	17 206	1,05	14 846	15 657	30 503
Cândido dos Reis	6	45 466	52 229	1,15	58 937	67 704	126 641
Espaço Natureza	6	34 368	38 346	1,12	20 915	23 336	44 251
Mandim	6	21 973	22 025	1,00	24 237	24 294	48 531
Mindelo	6	58 869	64 506	1,10	65 244	71 491	136 735
Modivas Centro	6	46 109	48 284	1,05	42 978	45 005	87 983
Modivas Sul	6	24 602	27 427	1,11	26 150	29 153	55 303
Vilar do Pinheiro	6	64 772	66 138	1,02	63 627	64 969	128 596
Zona Industrial	6	32 413	29 053	0,90	28 540	25 581	54 121
Nau Vitória	6						

ANEXO C - ESTIMAÇÃO DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X3

Estação	Nível Final	1º S. (07)	2º S. (07)	2º/1º	1º S. (09)	2º S. (09)	Validações 2009
João de Deus	1	1 125 716	1 244 280	1,11	918 491	1 015 229	1 933 720
Aliados	2	510 384	550 726	1,08	548 313	591 653	1 139 966
Brito Capelo	2	218 084	228 555	1,05	226 351	237 219	463 570
Câmara de Gaia	2	387 117	404 668	1,05	417 708	436 646	854 354
Câmara de Matosinhos	2	367 598	339 510	0,92	373 347	344 820	718 167
D. João II	2	0	0	1,05	742 316	779 432	1 521 748
Fórum Maia	2	426 173	449 513	1,05	443 189	467 461	910 650
General Torres	2	397 741	433 748	1,09	469 738	512 263	982 001
Matosinhos Sul	2	275 165	306 959	1,12	299 982	334 643	634 625
Parque de Real	2	152 480	150 267	0,99	158 206	155 910	314 116
Póvoa de Varzim	2	251 238	281 555	1,12	252 942	283 465	536 407
S. Bento	2	937 548	1 040 731	1,11	1 106 991	1 228 822	2 335 813
Levada	2						
Jardim do Morro	3	147 561	171 402	1,16	169 972	197 434	367 406
Mercado	3	130 331	157 799	1,21	156 185	189 102	345 287
Pedras Rubras	3	151 889	143 602	0,95	139 725	132 102	271 827
Pedro Hispano	3	189 514	187 335	0,99	186 966	184 816	371 782
Sto Ovídio	3						
Alto de Pega	4	33 281	33 706	1,01	31 223	31 622	62 845
Castêlo da Maia	4	130 050	127 262	0,98	126 663	123 948	250 611
Estádio do Mar	4	182 858	181 972	1,00	184 908	184 012	368 920
Parque Maia	4	96 553	111 431	1,15	118 502	136 762	255 264
Portas Fronhas	4	41 642	45 433	1,09	45 783	49 951	95 734
São Brás	4	20 114	24 082	1,20	23 626	28 287	51 913
Vasco da Gama	4	216 977	212 986	0,98	232 702	228 422	461 124
Vila do Conde	4	103 372	115 556	1,12	128 920	144 115	273 035
Campainha	4						
Contumil	4						

Fânzeres	4						
Venda Nova	4						
Araújo	5	53 865	60 670	1,13	56 528	63 669	120 197
Custió	5	59 109	64 200	1,09	72 179	78 396	150 575
ISMAI	5	91 515	97 054	1,06	117 376	124 480	241 856
Lidador	5	53 653	55 523	1,03	51 279	53 066	104 345
Pias	5	41 764	43 004	1,03	40 943	42 159	83 102
Santa Clara	5	67 709	71 606	1,06	66 932	70 784	137 716
Senhor de Matosinhos	5	73 313	42 930	0,59	66 212	38 772	104 984
Varziela	5	52 202	56 835	1,09	57 864	63 000	120 864
Baguim	5						
Carreira	5						
Nasoni	5						
Rio Tinto	5						
Trindade	5						
Árvore	6	23 279	27 064	1,16	21 621	25 136	46 757
Azurara	6	16 315	17 206	1,05	14 846	15 657	30 503
Cândido dos Reis	6	45 466	52 229	1,15	58 937	67 704	126 641
Espaço Natureza	6	34 368	38 346	1,12	20 915	23 336	44 251
Mandim	6	21 973	22 025	1,00	24 237	24 294	48 531
Mindelo	6	58 869	64 506	1,10	65 244	71 491	136 735
Modivas Centro	6	46 109	48 284	1,05	42 978	45 005	87 983
Modivas Sul	6	24 602	27 427	1,11	26 150	29 153	55 303
Vilar do Pinheiro	6	64 772	66 138	1,02	63 627	64 969	128 596
Zona Industrial	6	32 413	29 053	0,90	28 540	25 581	54 121
Nau Vitória	6						

ANEXO D – ESTIMATIVA DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X4

Estação	Nível Final	1º S. (07)	2º S. (07)	2º/1º	1º S. (09)	2º S. (09)	Validações 2009
Aliados	1	510 384	550 726	1,08	548 313	591 653	1 139 966
João de Deus	1	1 125 716	1 244 280	1,11	918 491	1 015 229	1 933 720
Câmara de Gaia	2	387 117	404 668	1,05	417 708	436 646	854 354
Câmara de Matosinhos	2	367 598	339 510	0,92	373 347	344 820	718 167
D. João II	2	0	0	1,05	742 316	779 432	1 521 748
General Torres	2	397 741	433 748	1,09	469 738	512 263	982 001
Póvoa de Varzim	2	251 238	281 555	1,12	252 942	283 465	536 407
S. Bento	2	937 548	1 040 731	1,11	1 106 991	1 228 822	2 335 813
Levada	2						
Brito Capelo	3	218 084	228 555	1,05	226 351	237 219	463 570
Fórum Maia	3	426 173	449 513	1,05	443 189	467 461	910 650
Jardim do Morro	3	147 561	171 402	1,16	169 972	197 434	367 406
Matosinhos Sul	3	275 165	306 959	1,12	299 982	334 643	634 625
Mercado	3	130 331	157 799	1,21	156 185	189 102	345 287
Parque de Real	3	152 480	150 267	0,99	158 206	155 910	314 116
Pedro Hispano	3	189 514	187 335	0,99	186 966	184 816	371 782
Sto Ovídio	3						
Estádio do Mar	4	182 858	181 972	1,00	184 908	184 012	368 920
Parque Maia	4	96 553	111 431	1,15	118 502	136 762	255 264
Pedras Rubras	4	151 889	143 602	0,95	139 725	132 102	271 827
Vasco da Gama	4	216 977	212 986	0,98	232 702	228 422	461 124
Campainha	4						
Contumil	4						
Fânzeres	4						
Trindade	4						
Venda Nova	4						
Alto de Pega	5	33 281	33 706	1,01	31 223	31 622	62 845
Castêlo da Maia	5	130 050	127 262	0,98	126 663	123 948	250 611

ISMAI	5	91 515	97 054	1,06	117 376	124 480	241 856
Pias	5	41 764	43 004	1,03	40 943	42 159	83 102
Portas Fronhas	5	41 642	45 433	1,09	45 783	49 951	95 734
São Brás	5	20 114	24 082	1,20	23 626	28 287	51 913
Senhor de Matosinhos	5	73 313	42 930	0,59	66 212	38 772	104 984
Vila do Conde	5	103 372	115 556	1,12	128 920	144 115	273 035
Nasoni	5						
Rio Tinto	5						
Araújo	6	53 865	60 670	1,13	56 528	63 669	120 197
Árvore	6	23 279	27 064	1,16	21 621	25 136	46 757
Azurara	6	16 315	17 206	1,05	14 846	15 657	30 503
Cândido dos Reis	6	45 466	52 229	1,15	58 937	67 704	126 641
Custió	6	59 109	64 200	1,09	72 179	78 396	150 575
Espaço Natureza	6	34 368	38 346	1,12	20 915	23 336	44 251
Lidador	6	53 653	55 523	1,03	51 279	53 066	104 345
Mandim	6	21 973	22 025	1,00	24 237	24 294	48 531
Mindelo	6	58 869	64 506	1,10	65 244	71 491	136 735
Modivas Centro	6	46 109	48 284	1,05	42 978	45 005	87 983
Modivas Sul	6	24 602	27 427	1,11	26 150	29 153	55 303
Santa Clara	6	67 709	71 606	1,06	66 932	70 784	137 716
Varziela	6	52 202	56 835	1,09	57 864	63 000	120 864
Vilar do Pinheiro	6	64 772	66 138	1,02	63 627	64 969	128 596
Zona Industrial	6	32 413	29 053	0,90	28 540	25 581	54 121
Baguim	6						
Carreira	6						
Nau Vitória	6						

ANEXO E – ESTIMATIVAS DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X5

Estação	Nível Final	1º S. (07)	2º S. (07)	2º/1º	1º S. (09)	2º S. (09)	Validações 2009
Aliados	1	510 384	550 726	1,08	548 313	591 653	1 139 966
João de Deus	1	1 125 716	1 244 280	1,11	918 491	1 015 229	1 933 720
Câmara de Gaia	2	387 117	404 668	1,05	417 708	436 646	854 354
Câmara de Matosinhos	2	367 598	339 510	0,92	373 347	344 820	718 167
D. João II	2	0	0	1,05	742 316	779 432	1 521 748
General Torres	2	397 741	433 748	1,09	469 738	512 263	982 001
Póvoa de Varzim	2	251 238	281 555	1,12	252 942	283 465	536 407
S. Bento	2	937 548	1 040 731	1,11	1 106 991	1 228 822	2 335 813
Levada	2						
Brito Capelo	3	218 084	228 555	1,05	226 351	237 219	463 570
Fórum Maia	3	426 173	449 513	1,05	443 189	467 461	910 650
Jardim do Morro	3	147 561	171 402	1,16	169 972	197 434	367 406
Matosinhos Sul	3	275 165	306 959	1,12	299 982	334 643	634 625
Mercado	3	130 331	157 799	1,21	156 185	189 102	345 287
Parque de Real	3	152 480	150 267	0,99	158 206	155 910	314 116
Pedro Hispano	3	189 514	187 335	0,99	186 966	184 816	371 782
Sto Ovídio	3						
Estádio do Mar	4	182 858	181 972	1,00	184 908	184 012	368 920
Parque Maia	4	96 553	111 431	1,15	118 502	136 762	255 264
Pedras Rubras	4	151 889	143 602	0,95	139 725	132 102	271 827
Vasco da Gama	4	216 977	212 986	0,98	232 702	228 422	461 124
Campainha	4						
Contumil	4						
Fânzeres	4						
Trindade	4						
Venda Nova	4						
Alto de Pega	5	33 281	33 706	1,01	31 223	31 622	62 845
Castêlo da Maia	5	130 050	127 262	0,98	126 663	123 948	250 611

ISMAI	5	91 515	97 054	1,06	117 376	124 480	241 856
Pias	5	41 764	43 004	1,03	40 943	42 159	83 102
Portas Fronhas	5	41 642	45 433	1,09	45 783	49 951	95 734
São Brás	5	20 114	24 082	1,20	23 626	28 287	51 913
Senhor de Matosinhos	5	73 313	42 930	0,59	66 212	38 772	104 984
Vila do Conde	5	103 372	115 556	1,12	128 920	144 115	273 035
Nasoni	5						
Rio Tinto	5						
Araújo	6	53 865	60 670	1,13	56 528	63 669	120 197
Árvore	6	23 279	27 064	1,16	21 621	25 136	46 757
Azurara	6	16 315	17 206	1,05	14 846	15 657	30 503
Cândido dos Reis	6	45 466	52 229	1,15	58 937	67 704	126 641
Custió	6	59 109	64 200	1,09	72 179	78 396	150 575
Espaço Natureza	6	34 368	38 346	1,12	20 915	23 336	44 251
Lidador	6	53 653	55 523	1,03	51 279	53 066	104 345
Mandim	6	21 973	22 025	1,00	24 237	24 294	48 531
Mindelo	6	58 869	64 506	1,10	65 244	71 491	136 735
Modivas Centro	6	46 109	48 284	1,05	42 978	45 005	87 983
Modivas Sul	6	24 602	27 427	1,11	26 150	29 153	55 303
Santa Clara	6	67 709	71 606	1,06	66 932	70 784	137 716
Varziela	6	52 202	56 835	1,09	57 864	63 000	120 864
Vilar do Pinheiro	6	64 772	66 138	1,02	63 627	64 969	128 596
Zona Industrial	6	32 413	29 053	0,90	28 540	25 581	54 121
Baguim	6						
Carreira	6						
Nau Vitória	6						

ANEXO F – ESTIMATIVA DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X6

Estação	Nível Final	Validações Semanais	Validações 5h - 10h	% Manhã	Validações 2009	Ponta Manhã - Anuais
Câmara de Gaia	1	19239	5245	27,26%	854 354	232 917
General Torres	1	21863	8744	39,99%	982 001	392 746
João de Deus	1	40838	12208	29,89%	1 933 720	578 061
S. Bento	1	49151	9530	19,39%	2 335 813	452 896
Aliados	2	23410	1484	6,34%	1 139 966	72 264
Brito Capelo	2	9504	1110	11,68%	463 570	54 142
Câmara de Matosinhos	2	14921	2562	17,17%	718 167	123 312
D. João II	2	32381	16679	51,51%	1 521 748	783 831
Estádio do Mar	2	8492	1626	19,15%	368 920	70 639
Fórum Maia	2	20956	6561	31,31%	910 650	285 110
Matosinhos Sul	2	11528	1875	16,26%	634 625	103 220
Parque de Real	2	7309	1779	24,34%	314 116	76 455
Pedras Rubras	2	6381	2190	34,32%	271 827	93 293
Pedro Hispano	2	8404	1995	23,74%	371 782	88 256
Póvoa de Varzim	2	11747	4379	37,28%	536 407	199 960
Vasco da Gama	2	9482	3594	37,90%	461 124	174 782
Campainha	2					
Contumil	2					
Fânzeres	2					
Levada	2					
Sto Ovídio	2					
Venda Nova	2					
Alto de Pega	3	1689	460	27,24%	62 845	17 116
Castêlo da Maia	3	5795	2407	41,54%	250 611	104 093
Jardim do Morro	3	7406	1564	21,12%	367 406	77 589
Mercado	3	7049	1311	18,60%	345 287	64 218
Portas Fronhas	3	1994	726	36,41%	95 734	34 856
São Brás	3	1244	540	43,41%	51 913	22 535

Parque Maia	3	5243	2259	43,09%	255 264	109 983
Trindade	3					
Araújo	4	2609	1004	38,48%	120 197	46 255
Custió	4	3180	1275	40,09%	150 575	60 372
Lidador	4	2622	1228	46,83%	104 345	48 870
Pias	4	1936	754	38,95%	83 102	32 365
Santa Clara	4	3441	607	17,64%	137 716	24 293
Senhor de Matosinhos	4	1921	518	26,97%	104 984	28 309
Varziela	4	2549	799	31,35%	120 864	37 885
Vila do Conde	4	5894	2142	36,34%	273 035	99 227
Baguim	4					
Carreira	4					
Nasoni	4					
Rio Tinto	4					
Árvore	6	1101	472	42,87%	46 757	20 045
Azurara	6	825	313	37,94%	30 503	11 573
Cândido dos Reis	6	2424	845	34,86%	126 641	44 147
Espaço Natureza	6	1426	176	12,34%	44 251	5 462
ISMAI	6	6518	1265	19,41%	241 856	46 939
Mandim	6	1137	178	15,66%	48 531	7 598
Mindelo	6	2900	1217	41,97%	136 735	57 382
Modivas Centro	6	2051	897	43,73%	87 983	38 479
Modivas Sul	6	1191	638	53,57%	55 303	29 625
Vilar do Pinheiro	6	3066	1416	46,18%	128 596	59 391
Zona Industrial	6	1457	183	12,56%	54 121	6 798
Nau Vitória	6					

ANEXO G – ESTIMATIVA DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X7

Estação	Nível Final	Validações Semanais	Validações 17h - 20h	% Tarde	Validações 2009	Ponta Tarde - Anuais
Aliados	1	23410	7354	31,41%	1 139 966	358 108
João de Deus	1	40838	6484	15,88%	1 933 720	307 024
Câmara de Gaia	2	19239	3203	16,65%	854 354	142 237
Câmara de Matosinhos	2	14921	3509	23,52%	718 167	168 893
General Torres	2	21863	2819	12,89%	982 001	126 618
Póvoa de Varzim	2	11747	1631	13,88%	536 407	74 477
S. Bento	2	49151	12329	25,08%	2 335 813	585 914
Brito Capelo	3	9504	2431	25,58%	463 570	118 575
D. João II	3	32381	2898	8,95%	1 521 748	136 192
Fórum Maia	3	20956	4208	20,08%	910 650	182 860
Jardim do Morro	3	7406	1321	17,84%	367 406	65 534
Matosinhos Sul	3	11528	2610	22,64%	634 625	143 683
Mercado	3	7049	1497	21,24%	345 287	73 329
Parque de Real	3	7309	1343	18,37%	314 116	57 718
Pedro Hispano	3	8404	1244	14,80%	371 782	55 033
Levada	3					
Sto Ovídio	3					
Parque Maia	4	5243	744	14,19%	255 264	36 223
Pedras Rubras	4	6381	1257	19,70%	271 827	53 547
Contumil	4					
Trindade	4					
Estádio do Mar	5	8492	1385	16,31%	368 920	60 169
ISMAI	5	6518	1799	27,60%	241 856	66 754
Vasco da Gama	5	9482	946	9,98%	461 124	46 005
Vila do Conde	5	5894	887	15,05%	273 035	41 090
Campainha	5					
Fânzeres	5					
Venda Nova	5					

Alto de Pega	6	1689	374	22,14%	62 845	13 916
Araújo	6	2609	318	12,19%	120 197	14 650
Árvore	6	1101	123	11,17%	46 757	5 224
Azurara	6	825	79	9,58%	30 503	2 921
Cândido dos Reis	6	2424	315	13,00%	126 641	16 457
Castêlo da Maia	6	5795	850	14,67%	250 611	36 759
Custió	6	3180	416	13,08%	150 575	19 698
Espaço Natureza	6	1426	748	52,45%	44 251	23 212
Lidador	6	2622	308	11,75%	104 345	12 257
Mandim	6	1137	634	55,76%	48 531	27 061
Mindelo	6	2900	450	15,52%	136 735	21 218
Modivas Centro	6	2051	221	10,78%	87 983	9 480
Modivas Sul	6	1191	127	10,66%	55 303	5 897
Pias	6	1936	244	12,60%	83 102	10 474
Portas Fronhas	6	1994	236	11,84%	95 734	11 331
Santa Clara	6	3441	1019	29,61%	137 716	40 783
São Brás	6	1244	149	11,98%	51 913	6 218
Senhor de Matosinhos	6	1921	378	19,68%	104 984	20 658
Varziela	6	2549	539	21,15%	120 864	25 557
Vilar do Pinheiro	6	3066	376	12,26%	128 596	15 770
Zona Industrial	6	1457	757	51,96%	54 121	28 119
Baguim	6					
Carreira	6					
Nasoni	6					
Nau Vitória	6					
Rio Tinto	6					

ANEXO H – ESTIMATIVA DAS VALIDAÇÕES DE 2009 POR X8

Estação	Nível Final	Validações Semanais	Validações Restantes	% Restante	Validações 2009	Restante - Anuais
Aliados	1	23410	14572	62,25%	1 139 966	709 594
João de Deus	1	40838	22146	54,23%	1 933 720	1 048 635
Câmara de Gaia	2	19239	10791	56,09%	854 354	479 200
D. João II	2	32381	12804	39,54%	1 521 748	601 725
General Torres	2	21863	10300	47,11%	982 001	462 636
Jardim do Morro	2	7406	4521	61,05%	367 406	224 283
S. Bento	2	49151	27292	55,53%	2 335 813	1 297 003
Levada	2					
Brito Capelo	3	9504	5963	62,74%	463 570	290 853
Câmara de Matosinhos	3	14921	8850	59,31%	718 167	425 962
Estádio do Mar	3	8492	5481	64,54%	368 920	238 112
Fórum Maia	3	20956	10187	48,61%	910 650	442 679
Matosinhos Sul	3	11528	7043	61,09%	634 625	387 723
Mercado	3	7049	4241	60,16%	345 287	207 740
Parque de Real	3	7309	4187	57,29%	314 116	179 943
Pedro Hispano	3	8404	5165	61,46%	371 782	228 493
Póvoa de Varzim	3	11747	5737	48,84%	536 407	261 970
Vasco da Gama	3	9482	4942	52,12%	461 124	240 337
Contumil	3					
Sto Ovídio	3					
Trindade	3					
Parque Maia	4	5243	2240	42,72%	255 264	109 058
Pedras Rubras	4	6381	2934	45,98%	271 827	124 987
Campinha	4					
Fânzeres	4					
Venda Nova	4					
Alto de Pega	5	1689	855	50,62%	62 845	31 813
Castêlo da Maia	5	5795	2538	43,80%	250 611	109 758

Pias	5	1936	938	48,45%	83 102	40 263
Portas Fronhas	5	1994	1032	51,76%	95 734	49 547
São Brás	5	1244	555	44,61%	51 913	23 160
Senhor de Matosinhos	5	1921	1025	53,36%	104 984	56 017
Vila do Conde	5	5894	2865	48,61%	273 035	132 719
Nasoni	5					
Nau Vitória	5					
Rio Tinto	5					
Araújo	6	2609	1287	49,33%	120 197	59 292
Árvore	6	1101	506	45,96%	46 757	21 489
Azurara	6	825	433	52,48%	30 503	16 009
Cândido dos Reis	6	2424	1264	52,15%	126 641	66 037
Custió	6	3180	1489	46,82%	150 575	70 505
Espaço Natureza	6	1426	502	35,20%	44 251	15 578
ISMAI	6	6518	3454	52,99%	241 856	128 164
Lidador	6	2622	1086	41,42%	104 345	43 219
Mandim	6	1137	325	28,58%	48 531	13 872
Mindelo	6	2900	1233	42,52%	136 735	58 136
Modivas Centro	6	2051	933	45,49%	87 983	40 024
Modivas Sul	6	1191	426	35,77%	55 303	19 781
Santa Clara	6	3441	1815	52,75%	137 716	72 640
Varziela	6	2549	1211	47,51%	120 864	57 421
Vilar do Pinheiro	6	3066	1274	41,55%	128 596	53 435
Zona Industrial	6	1457	517	35,48%	54 121	19 204
Baguim	6					
Carreira	6					

ANEXO I – COORDENADAS GEOGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES DO MP

Estação	Coordenada X	Coordenada Y
24 de Agosto	-8.598383	41.148636
Aeroporto	-8.670032	41.236852
Aliados	-8.611008	41.148614
Alto da Pega	-8.745165	41.364637
Araújo	-8.640925	41.216977
Árvore	-8.725379	41.340173
Azurara	-8.728029	41.345751
Baguim	-8.545884	41.185569
Bolhão	-8.606000	41.149792
Botica	-8.665268	41.237530
Brito Capelo	-8.691496	41.183892
Câmara de Gaia	-8.606103	41.129127
Câmara de Matosinhos	-8.681220	41.180744
Campainha	-8.553818	41.183415
Campanhã	-8.586186	41.149543
Cândido dos Reis	-8.649809	41.200576
Carolina Michaelis	-8.622325	41.158660
Carreira	-8.543848	41.179469
Casa da Música	-8.628355	41.160623
Castêlo da Maia	-8.617086	41.262793
Combatentes	-8.598848	41.165245
Contumil	-8.578825	41.165764
Crestins	-8.656679	41.233005
Custió	-8.639435	41.222189
Custóias	-8.655638	41.200287
D. João II	-8.606270	41.119078
Espaço Natureza	-8.718674	41.321156
Esposade	-8.654480	41.216140
Estádio do Dragão	-8.582294	41.160645

Estádio do Mar	-8.661226	41.185809
Fânzeres	-8.542914	41.171240
Faria Guimarães	-8.609195	41.157371
Fonte do Cuco	-8.655960	41.194007
Fórum Maia	-8.624029	41.234365
Francos	-8.636112	41.165381
General Torres	-8.607637	41.134113
Heroísmo	-8.592779	41.146492
Hospital São João	-8.602090	41.183237
IPO	-8.604310	41.181800
ISMAI	-8.615691	41.268461
Jardim do Morro	-8.608731	41.137523
João de Deus	-8.605734	41.125613
Lapa	-8.617240	41.157247
Levada	-8.562224	41.175732
Lidador	-8.668469	41.255284
Mandim	-8.628349	41.253744
Marquês	-8.604195	41.161183
Matosinhos Sul	-8.688781	41.180158
Mercado	-8.693608	41.187396
Mindelo	-8.714232	41.315096
Modivas Centro	-8.699174	41.293521
Modivas Sul	-8.693724	41.285395
Nasoni	-8.577323	41.170852
Nau Vitória	-8.573675	41.174115
Parque de Real	-8.673672	41.179148
Parque Maia	-8.627129	41.229128
Pedras Rubras	-8.661797	41.246268
Pedro Hispano	-8.666226	41.180431
Pias	-8.647427	41.208244
Pólo Universitário	-8.603586	41.174031
Portas Fronhas	-8.749324	41.368913

Póvoa do Varzim	-8.758274	41.377761
Ramalde	-8.641884	41.173021
Rio Tinto	-8.560299	41.179718
São Bento	-8.610847	41.144768
Salgueiros	-8.598727	41.169701
Santa Clara	-8.735566	41.353889
São Brás	-8.754181	41.373465
Senhor de Matosinhos	-8.684845	41.188276
Senhora da Hora	-8.654469	41.188065
Sete Bicas	-8.652409	41.182647
Santo Ovídio	-8.606578	41.115839
Trindade	-8.609549	41.151619
Varziela	-8.720723	41.334054
Vasco da Gama	-8.660966	41.190303
Venda Nova	-8.542024	41.175181
Verdes	-8.658363	41.238338
Vila do Conde	-8.740019	41.359233
Vilar do Pinheiro	-8.679605	41.270365
Viso	-8.646648	41.177309
Zona Industrial	-8.628599	41.243877